

# فسيولوجيا النبات

تأليف

دكتور حسين سعيد

دبلوم السكيا الامراضية ( لندن )

دكتوراه في الفلقة ( كوردج )

دكتوراه في العلوم ( القاهرة )

أستاذ الفسيولوجيا ورئيس قسم النبات

كلية العلوم — جامعة القاهرة

دكتور اسماعيل ندا

مكثوريوس في الزراعة ( القاهرة )

ماجستير في الزراعة ( القاهرة )

دكتوراه في الفلسفة ( القاهرة )

أستاذ مساعد ، قسم النبات الزراعى

كلية الزراعة — جامعة عين شمس

الناشر

مكتبة الادب العلمى المصرية

١٦٥ شارع محمد فرید بالقاهرة

حقوق الطبع محفوظة للمؤلفين

المطبعة التجارىة المتحدة

١٦ شارع الشيخ قريش بالقاهرة



# فسيولوجيا النبات

تأليف

دكتور اسماعيل ندا

بكالوريوس في الزراعة ( القاهرة )  
ماجستير في الزراعة ( القاهرة )  
دكتوراه في الفلسفة ( القاهرة )  
أستاذ مساعد ، قسم النبات الزراعي  
كلية الزراعة — جامعة عين شمس

دكتور حسين هنيدي

دبلوم الكلية الامبراطورية ( لندن )  
دكتوراه في الفلسفة ( كيردج )  
دكتوراه في العلوم ( القاهرة )

مستشار التعليم العالي ورئيس قسم  
مكتبة العلوم متقدمة جامعة القاهرة  
BIBLIOTHECA ALEXANDRINA

مجلد ١٥٣ / ٤٢

الناشر

مكتبة الادب والبحار المصرية

١٦٥ شارع محمد فريد بالقاهرة

حقوق الطبع محفوظة للناشرين

المطبعة التجارية الحديثة  
بمصر



## مقدمة الطبعة الثانية

بسم الله الرحمن الرحيم

وبعد ، فإنه هي الطبعة الثانية من كتاب فسيولوجيا النبات نقدمها لطلاب العلم بعد أن أدخلنا على الطبعة الأولى كثيراً من التعديلات والنظريات الحديثة التي ظهرت حتى الآن . والله نسأل أن يحقق الغاية التي وضع من أجلها .

ديسمبر سنة ١٩٥٥

المؤلفان

## مقدمة الطبعة الأولى

علم فسيولوجيا النبات — أو وظائف أعضاء النبات — هو العلم الذي يفسر لنا ظواهر الحياة في النباتات على ضوء ما عرفناه من علوم الكيمياء والطبيعة . وقتضى دراسة هذا العلم الإسلام التام بشرح النباتات . ولهذا العلم ارتباط كبير بجميع فروع علم النبات . فمثلاً : علم البيئة ، الذي يرى إلى دراسة علاقة النبات بالبيئة التي ينمو فيها ، ما هو في الواقع إلا دراسة لفسيولوجيا النبات .

ولدراسة هذا العلم أهمية خاصة للمشتغلين بعلم أمراض النباتات حيث يفيد كثيراً في معرفة العلاقة الفسيولوجية بين العائل والطفيل .

وتزداد أهمية هذا العلم للمشتغلين بعلوم الزراعة — كزراعة الغابات وصناعة وحفظ المواد الغذائية وكثير من الصناعات التي تعتمد على منتجات الزراعة كصناعة القطن والكتان والمنظفات والشاي والسكر .

والله نسأل أن يفيد بهذا الكتاب المشتغلين بالعلوم الزراعية والعلوم البحتة .

أكتوبر سنة ١٩٥٣

المؤلفان

## المحتويات

صفحة	
١	الباب الأول - الخلية النباتية
٩	الباب الثاني - الحالة الفسيولوجية للبروتوبلازم
٢٤	الباب الثالث - الأزموزية
٣٠	الباب الرابع - الخلية النباتية وعلاقتها بالماء
٦٢	الباب الخامس - التفتح
٨٠	الباب السادس - تغذية الخلية النباتية
٩٩	الباب السابع - تغذية النبات
١١٢	الباب الثامن - الأثرية
١٣٨	الباب التاسع - التحول الغذائي ( الأيض )
١٤٠	الفصل الأول - البناء
١٨٥	الفصل الثاني - الهدم
٢٢٠	الباب العاشر - انتقال المواد الغذائية
٢٢٥	الباب الحادي عشر - أنبات البذور
٢٣٤	الباب الثاني عشر - الفرم
٢٤٤	الباب الثالث عشر - الهرمونات النباتية
٢٦٠	الباب الرابع عشر - الحركة والاحساس في النبات



# الباب الأول

## الخلية النباتية

### The Plant Cell



يتركب جسم النبات من وحدات صغيرة متراسة تعرف الواحدة منها بالخلية .  
وتتميز الخلية النباتية بأنها مضلعة وأن لها جداراً غير حي يحدها من الخارج وهي  
في ذلك تختلف الخلية الحيوانية .

والخلية النباتية في الغالب صغيرة ميكرومكروية ويستعمل في قياسها الميكرون  
( وهو  $\frac{1}{1000}$  من المليمتر ) إلا أن هناك بعض الخلايا النباتية تكون من الكبر  
بحيث يمكن رؤيتها بالعين المجردة مثل خلايا طحلب النيتلا Nitella إذ يبلغ طول خلية  
بضع سنتيمترات .

ويوجد داخل جدار الخلية مادة شفافة نوعاً لدرجة تعرف بالبروتوبلازم تملأ  
غراغ الخلية في طورها الأول ( الطور المرستيمي ) هذا البروتوبلازم يتركب من  
غشاء بلازمي حي وسيتوبلازم يملأ أكبر جزء من الخلية وهو سائل غروي لزج وله  
جميع خواص الغرويات السائلة الحية للذئب . ويحتوي السيتوبلازم على أجسام  
ممتعة أهمها النواة والبلاستيدات . كما أنه يوجد بالسيتوبلازم بعض المواد الغذائية  
كحبيبات النشاء وبعض البلورات المعدنية والمواد البروتينية ونقط دهنية . ويفرز  
السيتوبلازم مركبات شامة تعرف بالإنزيمات Enzymes وتقوم بدور العامل المساعد  
في التفاعلات الكيميائية المختلفة التي تحدث داخل الخلية .

والنواة جسم كروي يفصله عن البروتوبلازم والغشاء النووي، وتتركب النواة من  
مادة غروية أيضاً ذات لدرجة أعلا من لدرجة السيتوبلازم . وهذا الغشاء النووي

منفذ للماء بدليل انتفاخ النواة كباقي الخلية عند وضعها في محاليل مخففة وانكماشها عند وضعها في محاليل مركزة أو ذات أزموزية عالية . وعلاوة على ذلك فقد أثبت التجارب أن الغشاء النووي منفذ للصينات أيضاً . ويوجد داخل النواة الشبكة السكروماتينية وقد يشاهد داخل النواة جسم أو أجسام كروية تعرف بالنوية أو النويات.



(شكل ١)  
تحول الخلية المرستيمية  
إلى خلية بالغة

هي البلاستيدات الخضراء والبلاستيدات الملونة والبلاستيدات عديدة اللون .

وعند نمو الخلية المرستيمية إلى خلية بالغة فإنها تزداد في الحجم والوزن نتيجة لاتصاصها كميات كبيرة من الماء بينما تظل كمية البروتوبلازم ثابتة تقريباً ، ويظهر في السيتوبلازم فجوات صغيرة تكون في مبدأ الأمر قليلة العدد إلا أن عددها يزداد بمرور الوقت ويكبر حجمها وينتهي الأمر بأن يتصل بعضها ببعض وتتدجج مكونة فجوة كبيرة واحدة تشغل الوضع المركزي في الخلية وتسمى بالفجوة الخلوية Cell vacuole وتكون مملوءة بسائل دافق يعرف بالعصير الخلوي Cell sap. والنتيجة النهائية لغسل الفجوة مركز الخلية أن يدفع السيتوبلازم إلى وضع يحيط بحميه غشاءان بلازميان أحدهما تحت الجدار الخلوي والآخر يحيط بالفجوة . (شكل ١) .

ويحتوي السيتوبلازم — كما قلنا — على أجسام بروتوبلازمية أصغر في الحجم ، وأهم في اللون من النواة هي البلاستيدات Plastids التي تلعب دوراً هاماً في حياة النبات كما سيأتي في حينه . ويمكن تقسيم البلاستيدات إلى ثلاثة أنواع

هي البلاستيدات الخضراء والبلاستيدات الملونة والبلاستيدات عديدة اللون .



### ١ - البلاستيدات الخضراء The Chloroplastids

تحتوى هذه البلاستيدات غالباً على صبغة خضراء تعرف بالكوروفيل *Chlorophyll* وتوجد هذه البلاستيدات دائماً في الخلايا المعرضة لضوء الشمس، وتتميز هذه البلاستيدات في النباتات الراقية بصغر حجمها وكثرة عددها واستدارتها أو يكون لها شكل العدسة المحدبة الوجهين . أما في الطحالب فتكون أكبر حجماً وأقل عدداً كما هو الحال في طحلب الاسبيروجيرا *Spirogyra* حيث يوجد بلاستيدة خضراء واحدة أو اثنتين على الأكثر على شكل شريط حلزوني في كل خلية . وأهم وظيفة لهذه البلاستيدات الخضراء هي بناء المراد الكربوهيدراتية من الماء وثنائي أكسيد الكربون في وجود الضوء . وأن أهم ما يمتاز به النبات على الحيوان هي قدرة النبات على بناء مواد عضوية من مواد غير عضوية . الأمر الذي لم يكن ليحدث لو خلقت خلاياها من هذه البلاستيدات الخضراء .

### ب - البلاستيدات عديمة اللون The Leucoplastids

ويكثر وجود هذه البلاستيدات في الخلايا البعيدة عن الضوء ، ويبدو أن هذه البلاستيدات هي الأصل إذ أنها قادرة على التحول إلى بلاستيدات خضراء أو إلى بلاستيدات ملونة . ولهذا النوع من البلاستيدات وظيفة أخرى وهي أنها تصبح مراكز لتكوين وتخزين النشا من السكريات .

### ج - البلاستيدات الملونة The Chromoplastids

تحتوى هذه البلاستيدات على مواد ملونة صفراء وبرتقالية وحمراء ويكثر وجودها في بتلات الأزهار الملونة وفي بعض الثمار ولم يعرف إلى الآن على وجه التحديد وظيفة هذه البلاستيدات في النبات إلا أن ألوانها الزاهية التي تنكسها للأزهار لما يلفت نظر الحشرات فتزورها بحثاً عن الرحيق وبذا تتفتح هذه الأزهار عرضاً .

والدليل على إمكان تحول البلاستيدات من نوع إلى آخر ما نشاهد في ثمرة الطماطم

إذ أنها تبدو وهي صغيرة خالية من اللون تقريباً ومملوءة بالبلاستيدات عديدة اللون ثم لا تلبث أن يخضر لونها عندما تكبر وتعرض لضوء الشمس لامتلائها بالبلاستيدات الخضراء . وعندما تدخل في طور النضج يتحول لونها تدريجياً إلى اللون الأحمر لتحول بلاستيداتها الخضراء إلى بلاستيدات ملونة .

### منشأ البلاستيدات :

هناك رأيان وحما لتفسير منشأ البلاستيدات في الخلية :

الأول : أن البلاستيدات تنشأ مباشرة من السيئوبلازم وأنها تضمحل وتلاشي عند نضج البذور .

أما الثاني : فيرى أنها لا تنشأ من السيئوبلازم بل أن لها وجوداً مستقلاً في الخلية وأنها تتكاثر بالانقسام ثم تنتقل من جيل إلى جيل ، ويرى أصحاب هذا الرأي الأخير أن البلاستيدات تنتقل إلى الجنين ثم تظل كامنة حتى إذا ما نبتت البذور يتزايد عددها بالانقسام وبذا يتوافر عددها وتوزع على الخلايا .

### الغشاء البعزومي Plasma Membrane

المقصود بالغشاء البلازمي أنه هو الغشاء السطحي الرقيق الذي يحيط كتلة السيئوبلازم وله درجات مختلفة من النفاذية بالنسبة للمواد المختلفة . وفي الخلايا المرستيمية الصغيرة يوجد غشاء واحد يطن الجدار الخلوي من الداخل ، أما في الخلايا الكبيرة البالغة والتي تكونت بداخلها الفجوة فإنه يتكون بالإضافة إلى الغشاء الأول غشاء ثان يغلف الفجوة . وقد أطلق De Vries لفظي الاكتوبلاست Ectoplast والتونوبلاست Tonoplast على الغشائين الخارجى والداخلى على الترتيب ، غير أن هذه التسمية أصبحت قديمة وغير معمول بها الآن .

وليس من السهل إمكان رؤية هذين الغشائين في كثير من الخلايا ولكن هناك من الأدوات المبنية على المساعدة والفحص الميكرومكروبي الدقيق ما يثبت وجودهما .

### طبيعة الغشاء البلازمي .

رصدت نظريات كثيرة الغرض منها محاولة الوصول إلى معرفة تركيب وطبيعة الأغشية البلازمية ، غير أن أحداً من هذه الفروض لم يهتد بهذا الغرض .

وأهرب هذه الفروض إلى الصحة ما اقترحه بروكس Brooke ( ١٩٢٩ ) من أن الغشاء البلازمي يجب أن يتصوره وقد تكون من الليبيد Lipoid ( وهي مادة دهنية فسفورية ) وقد اختلطت بطريقة موزايقية بأجزاء مختلفة ذات تركيب بروتيني وأن هذا الغشاء الذي يدخل في تركيبه البروتين يجب أن يكون رقيقاً حتى يسمح بنفاذ الكايونات من بعض أجزائه والأيونات من أجزاء أخرى حسب نوع الشحنة الكهربائية التي يحملها أيون البروتين والتي يعينها الوسط الأيوني يتأين فيه . أما الأجزاء الليبويديّة من الغشاء فإنها تصبح أماكن لدخول المواد الدهنية والمواد المذابة لها .

وهذا النظام الذي اقترحه بروكس أصبح من السهل تفسير نفاذية المواد المختلفة خلال الغشاء البلازمي فغذاً مستقلاً يلائم بالنسبة للمواد المتأينة والمواد غير المتأينة حيث أصبح لها طريقان مستقلان في الغشاء البلازمي أحدهما مائي Aqueous والثاني زيتي Oily .

يمكننا الآن أن تصور الخلية ولها غشاءان بلازميان : أحدهما يبطن جدار الخلية من الداخل ويعرف بالغشاء البلازمي الخارجي والآخر يملأ الفجوة العصارية ويعرف بالغشاء البلازمي الداخلي ويحصران بينهما طبقة رقيقة شفافة هي السيتوبلازم ( شكل ٢ )

### الجدار الخلوي Cell wall

عند بدء انقسام الخلية تترسب مادة سكتات الكالسيوم مكونة ما يعرف بالصفحة الوسطية Middle lamella يمرزها السيتوبلازم ليحدد مكان انقسام الخلية إلى خليتين متجاورتين ، وترسب على جانبي هذه الصفحة الوسطية مواد يمرزها

السيتوبلازم أهمها مادة كربوهيدراتية تعرف بالسليولوز Cellulose مكونة بذلك الجدار الخلوي غير المحي وقد يختلط السليولوز بمركبات أخرى كالجنتين Lignin الذي يترسب بكثرة على جدر الأوعية الخشبية وقد يختلط مع اللجنين مادة أخرى هي الهيميسليولوز Hemicellulose في سوق النخج والشعير . وقد يكون الهيميسليولوز جميع الجدر الخلوي في خلايا بعض النباتات كما في اندوسبرم أو جنين نبات البن والبرسيم والبلح ، وفي جميع هذه الحالات يعتبر الهيميسليولوز غذاءاً كربوهيدراتياً مدخراً يحلل إلى سكريات يستعملها النبات إذا دعت الحاجة إلى ذلك .

كل هذه المواد السابقة لا تمنع نقاذ الماء إلا أن هناك مواد قد تختلط بالجدار وتجعله غير منمد للماء ومن أمثلتها اسوبرين Suberin والكيوتين Cutin . وتكون مادة السوبرين في خلايا القليل بينما تعطي مادة الكيوتين الجدر الخارجية لخلايا البشرة وقد يكون الكيوتين منمداً للماء إذا كانت طمقة رقيقة خصوصاً في حالة خلايا الأوراق الحديثة ولكن سرعان ما تقل هذه النفاذية ثم تنعدم عندما نراكم منه كميات أكبر على جدر الخلايا

وعلاوة على المواد السابق ذكرها فقد تختلط مادة الجدار بمواد أخرى من أمثلتها المواد الراتنجية والصمغ والكتان والدهون والزيوت والعلطور والمواد البروتينية والمواد الملونة وغيرها من الأملاح غير العضوية . ويتركب وجود هذه المواد على نوع النبات والظروف المعرض إليها والبيئة التي ينمو فيها .

ويعتبر الجدار الخلوي من أوجه الطبيعة في حالة عروية معقدة من النوع المعروف بالـ Gel ومن خصائص هذه الحالة قدرتها على التثبيغ بكميات كبيرة من الماء دون أن يورب الجدار في هذا الماء . مثل هذه الخاصية تعرف بخاصية التثرب Imbibition وتُشاهد عند عمر قطع من الخشب أو البلور الجافة في الماء حيث تتففع ويريد حجمها ويصح هذه الزيادة في الحجم انطلاق قدر معين من الحرارة لم يعرف سبب انطلاقها حتى الآن على وجه التحقيق بل إن عمية التثرب نفسها لا زالت غامضة . وفضل عملية التثرب هذه يستمر امتثال الماء من خلية إلى خلية . وتختلف قدرة



### المركب الكيماوى للبروتوبلازم وظاهرة الحياة :

يحتوى البروتوبلازم من الوجوه الكيماوية على نسبة كبيرة من اماء التي تختلف باختلاف العصور النباتى . ففى فى أجنة الذور الحقة تتراوح بين ١٠ — ١٥ ٪ ، فيما ترتفع هذه النسبة إلى ٨٠ — ٩٠ ٪ فى الأجزاء النخيرية النامية . أما المادة الجافة والمتبقية بعد التجفيف فأغلبها يتكون من مواد بروتينية وكوبوايدراتية محتاطة ببعض الدهون والأملاح .

ولا يمكن أن تعرى ظاهرة الحياة فى البروتوبلازم إلى أحواله على المواد السابق ذكرها . لئلا أتأثر مرجعها ببعضها وبمنس النسب الموجودة طلبها فى البروتوبلازم . فانه لا يظهر لها أى نشاط حيوى . وهذا يدل دلالة قاطعة على أنه ظاهرة الحياة إنما تعزى إلى عمليات التنظيم التى يقوم بها البروتوبلازم . ويحدث فى سيتوبلازم الخلية عمليات كيميائية وطبيعية مختلفة ومناقض بعضها البعض ، ومع ذلك تحدث فى السيتوبلازم جنباً إلى جنب . فالتنفس — وهو أحد عوامل الهدم فى النبات — يحدث جنباً إلى جنب وفى نفس الوقت مع التمثيل المصوق الذى يعتبر أهم عمليات البناء فى النبات . ومن ذلك ترى أنه لا بد أن تكون العمليتان منعصلتان عن بعضهما وأن لكل عملية منهما عوامل خاصة وشروط لا بد من توافرها لكي تتم . وهناك رأيان لتفسير ظاهرة الحياة فى البروتوبلازم :

أولها أنه لا بد من وجود جزيء من مادة حية ، ربما كان من أنواع البروتينات . وبديهي أنه عند قتل بروتوبلازم أى خلية لتحياتها كيميائياً فإن هذا الجزيء الحى يقتل وبذلك لا يظهر لنا فى التحليل الكيميائى إلا المواد البروتينية التى نعرف صفاتها وخواصها .

فإنهما أن تركيب البروتوبلازم الحى هو ما نعتز عليه فعلاً بعد قتله وتحليله كيميائياً . وفى هذه الحالة يجب أن نتصور أن هذه المواد لا بد أن تكون مرتبة فى البروتوبلازم ترتيباً خاصاً ولا يعرف هذا الترتيب إلا الخالق بطلت قدرته وأن هذا الترتيب الخاص يتلف عند استخلاص المواد المركبة للبروتوبلازم لتعريفها كيميائياً .

# الباب الثاني

## الحالة الغروية للبروتوبلازم

### The Colloidal State of the Protoplasm



في عام ١٨٦١ أطلق جراهام Graham على المواد التي تنفذ في ورق البازمخسة (كالسكر والأعلاح) لفظ «البلوريات» Crystalloids وعل المواد التي لا تنفذ منه كالجيلاتين والشاء والفرام لفظ «الغرويات» Colloids. ولذى دماه إلى هذه التسمية أنه لاحظ أن البلوريات سهلة البلور في محاليلها بينما لا يحدث مثل ذلك للغرويات. غير أن هذا التقسيم لم يلبث أن أصبح خطوه إذ تمكن الكيميائيون فيما بعد من تحضير أى مادة بصورة بلورية أو بصورة غروية حسب طريقة تحضيرها وأصبح لفظ الغرويات أو البلوريات لا يعلمان إلا على الحالة التي توجد عليها المادة وليس على المادة لصمة مطابقة وتعتبر المادة على حالة غروية إذا كانت وحداتها «ملتثرة» أكبر في الحجم من الجزيئات وسكنها من الصغر بحيث يصعب أن ترسب من تلقاء نفسها في مدياتها ولما كانت المحاليل الغروية هى أحد أنواع المحاليل الطبيعية لذا لم أن نعرف شيئاً على المحاليل.

### تقسيم المحاليل :

تنقسم المحاليل بالنسبة إلى حالة وجود المادة الذائنة في المادة المذيبة وعلاقة كل منها بالآخر إلى الأقسام الثلاثة الآتية .

١ - المحلول الحقيقى True solution وفيه تتجزأ المادة في السائل إلى جزيئات وقد تتحلل الجزيئات في أغلب الأحيان إلى أيونات ويكون الوحدات التي تتجزأ إليها المادة من الدقة بحيث لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة ولا بأية وسيلة أخرى سوى

وسائل الإبصار وقد قدر قطر هذه الوحدات بحوالى  $\frac{1}{1000}$  من المليمتر .  
وهذه الدقائق تظل متثرة في المذيب ( الذى قد يكون ماء أو أى سائل آخر ) ولا  
ترسب بمضى الوقت ومن أمثلتها محلول سكر العصب في الماء ومحلول كلورور  
المرديوم في الماء .

٢ المعلق والمستحلب Suspension and Emulsion وهما لا تتأثر المادة  
بوسائل عند خلطها به ، فإذا خفص الرمل بالماء أو الزيت بالماء فإن الأول سرعان  
ما يرسب بينما يطعمو الثاني على سطح الماء . وهنا تكون الوحدات التى تتجزأ اليها  
المادة من السكر بحيث يمكن رؤيتها بالمجهر . وقد قدر قطر هذه الوحدات بأكثر من  
 $\frac{1}{100}$  من المليمتر .

٣ - المحاليل الغروية Colloidal solutions وهما تتجزأ المادة إلى وحدات  
تقع وسطاً بين الوحدات التى تجمأت إليها المادة في المحاليل الحقيقية والتى تجمأت  
إليها في المعينات والمستحلبات فتكون الوحدات هنا من محوطات من الجزيئات  
المنجعة وتظل هذه الوحدات متثرة في محاليلها ولا ترسب أبداً من ناء نفسها كما  
أنها تكون من الصغر بحيث لا يمكن رؤيتها بالميكروسكوب إلا أنه يمكن رؤية  
بعض خواصها الصوتية بطرق خاصة سيأتى ذكرها . ومن أمثلة المحاليل الغروية  
محلول اندروكسيد الحديد في الغروى ومحلول الجيلاتين في الماء .

وعند الكلام على الغرويات يحسن أن نسمى المادة المذينة « بالطور المستمر »  
Continuous phase أو « وسط الانتثار » Dispersion medium والمادة الدائمة  
« بالطور المتثر » Dispersed phase

### تفسير الغرويات :

يمكن تحريك المادة من حالة الموجودة عليها إلى الحالة الغروية إما بجميع  
جزئيات المادة إلى وحدات تكون من جملة جزيئات وتسمى هذه الطريقة بالتحريك



Condensation وإما بتجزئة وحدات المادة الكبيرة حتى تصل إلى حجم الوحدة الفردية وتعرف هذه الطريقة بالتجزئة Diapersion .

وتشابه عملية التكتيف عملية ترسيب المادة في التفاعلات الكيميائية . فلتحضير مادة غروية بطريقة التكتيف يشبع المحلول بالمادة الدائمة إلى درجة فوق التشبع ثم يترك بعض الوقت فتلاحظ تكوّن مجموعات جزيئية تاحد في الكبر تدريجياً . فإذا تركت وشأنها فإنها تصل إلى درجة من الكبر بحيث تثقل وترسب في القاع . أما إذا أريد الحصول عليها على الحالة الغروية فإنه بواسطة بعض المعاملات الخاصة يمكن إزالتها كبر المجموعة الجزيئية عنما تصل إلى حجم الوحدة الفردية .

وتحضر معظم الغرويات غير العضوية بطريقة التكتيف التي تشمل عمليات التفاعل المزدوج والتحليل للمائي والأكسدة والاختزال . مثلاً عندما يعامل محلول مخفف من أكسيد الزرنيخ بكبريتور الأيدروجين يحدث تفاعل مزدوج ويكون كبريتور الزرنيخ الغروي .

وعند على محلول مخفف من كلورور الحديدك أو عند صب محلوله في ماء يعلى يتكون محلول غروي من ايسروكسيد الحديدك .

وإذا عمل محلول مخفف من كلورور أي معدن ( وليكن كلورور الذهب ) بالفرورالذهب شروط خاصة اختزلت أيونات المعدن إلى ذرات لا تلبث أن تتجمع لتكون وحدات غروية من المعدن المستعمل

وتشمل عمليات التجزئة في تحضير المحاليل الغروية طحن المادة أو نقيتها نقيتها آلياً بواسطة طواحين خاصة تعرف بالطواحين الغروية . وفي هذه الحالات يجب تنظيم عملية الطحن حتى يصل حجمها إلى حجم الوحدة الغروية . كما تشمل عمليات التجزئة أيضاً استعمال أنزيمات الهضم أو تحويل هذه المواد إلى حالة مستحلبة .

وقد استعمل جراهام أنزيمات الهضم في تحضير محلول غروي من زلال البيض المتجمد عنده أصناف إليه أنزيم الببسين Pepain وقليل من حامض الكلوريديك وقد أطلق على هذه العملية Peptization

وعند إضافة قليل من الزيت إلى الماء في أنبوبة اختبار فإنه عند الرج نحصل على ما يسمى بالمستحلب المؤقت ذلك لأنه إذا ترك بعض الوقت تجتمعت قطرات الزيت وابتعدت وطففت على سطح الماء وانفصل المستحلب إلى مكوناته الرئيسية أما إذا أصيب إلى الماء مادة من شأنها أن تقلل الجذب السطحي للماء أو للزيت أو لكليهما فإن الزيت يظل مجزأ ولا يميل إلى التجمع ويتكون مستحلب ثابت حتى حالة عروية .

### تقسيم الغرويات Classification of Colloids

تنقسم الغرويات إلى قسمين رئيسيين :-

القسم الأول . وتسمى بالغرويات الكارهة لوسط الانتثار Lyophobic Colloids ذلك لأنه لا توجد قابلية بين دقائقها أو وحداتها لانتثرة و بين دقائق وسط الانتثار . فإذا كان وسط الانتثار ماء سميت كارهة للماء Hydrophobic Colloids وتسمى أيضا شبه المعلقات Suspensoids ولا تختلف لزوجته مثل هذه الغرويات كثيراً عن دويجة وسط الانتثار وتحمل دقائقها شحنات كهربائية كلها من نوع واحد وهذا هو سبب بقائها منتثرة في وسط الانتثار دون أن ترسب . لذلك فإنها ترسب بسرعة عند إضافة محلول الكتروليتي مخفف إليها وإذا ما ترسب هذا النوع من الغرويات فإنه لا يمكن إعادته بالطرق الطبيعية إلى الحالة العروية وإذا تسمى بالغرويات الغير عكسية Irreversible Colloids ومن أمثلتها إندروكسيد الحديدك العروى .

أما سبب ترسب هذا النوع من الغرويات بسهولة عند إضافة محاليل الكتروليتية مخففة فيرجع إما لأن الشحنة المصادة في المحلول لا لكتروليني تعادل شحنة البذرة العروية أو تقللها إلى حد لا يمنع من تجاذب الدقائق لتكون جواميع كبيرة تشغل لكبرها وترسب . وكلما زاد تكاثر الأيون المستعمل في الترسيب في المحلول الألكتروليتي زادت قدرته في الترسيب . فكلوريد الألومنيوم أسرع في ترسيب كبريتور الزرنيخ من كلوريد الباريوم . وكلوريد الباريوم أسرع من كلوريد الصوديوم في الترسيب وذلك لاحتلالها في التكافؤ .

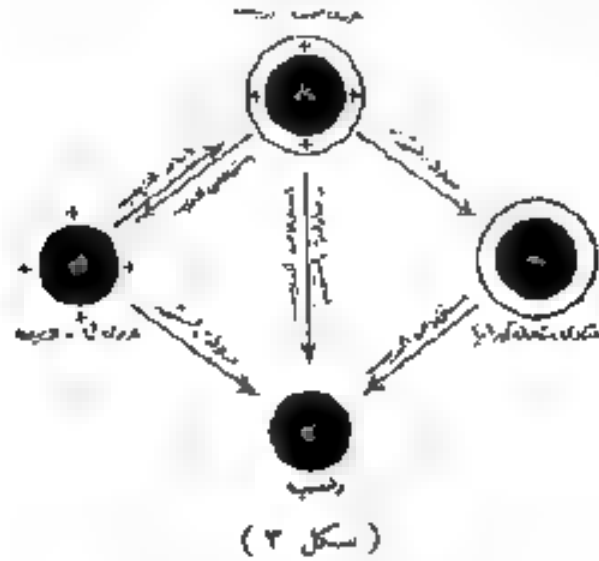
القسم الثاني . وتسمى بالمرويات المحبة لوسط الانتثار Lyophilic Colloids ذلك لأنه توجد قابلية كبيرة بين دقائقها المنتثرة وبين دقائق وسط الانتثار وتسمى أيضاً بشبه المستحلبات Emulsoids ومن أمثلتها محلول الجلائين والآجار والنشاء والصمغ والعراء ودرال البيض . ودرجة لزوجة هذه المحاليل أكثر بوجه عام من لزوجة وسط الانتثار .

تحتسب الدقائق المنتثرة لهذا النوع من المحاليل المروية بشحنات كهربائية كلها أبصاً من نوع واحد ويمكن تغيير نوعها بتغيير حموضة أو قلوية المحلول . وتحتاج مثل هذه المحاليل المروية إلى كميات كبيرة من الألكتروليتات ليتم ترسيبها وسكن بعد ترسيبها يمكن إعادة ثابته إلى حالة الغروية بإضافة مذيب نقي (كالماء مثلاً) إذا كان وسط الانتثار ماءً) ولذا تسمى بالمرويات العكسية Reversible colloids

ويعرى ثبات هذا النوع من المحاليل المروية وعدم ترسيبها بسهولة إلى سبين . الأيون هو تحمل وحداتها بالشحنة الكهربائية كما أسلفنا والثاني هو تغلف الدقائق بأغلفة كثيرة من وسط الانتثار لذلك لا يمكن لترسيب مثل هذا النوع من الغرويات إضافة محاليل ألكتروليتية مخففة لمعادلة شحنة دقائقها الكهربائية فإنها بالرغم من ذلك تظل منتثرة وفي حالة غير ية بل يجب أيضاً إضافة مادة مخففة كالكحول لتنتزع هذه الأغلفة التي حول الدقائق وبذلك يتم ترسيبها غير أنه يمكن معادلة الشحنة وإزالة الأغشية بعمية واحدة وهي إضافة محلول الكتروليتي مركز جداً أو على شكل جسم صلب مثل كبريتات النشادر التي تقوم بمعادلة الشحنة الكهربائية التي على الدقائق المروية وفي نفس الوقت تقوم بدور العامل المخفف ويورع الأغلفة المحيطة بالدقيقة المروية فتترسب . والرسم الآتي يبين نوعي الدقائق المروية والعلاقة بينهما وطرق ترسيبهما ( شكل ٣ ) .

وتغير قوم الغرويات المحبة لوسط الانتثار من السيولة إلى الصلابة والعكس بتغير درجة الحرارة وتركيز وسط الانتثار وغيرهما من العوامل . فإذا وضع محلول

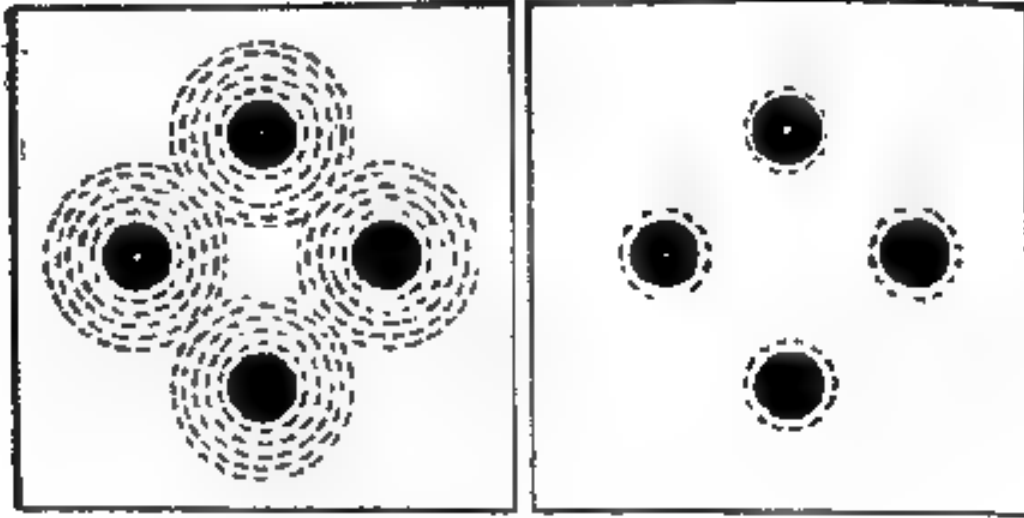
غروي من هذا النوع كحلول الجيلاتين في أنبوبة وسط غلوط مبرد تصب إلى قوام وجرار يعرف بالـ Gel . فإذا أعيد تسخينه تحول إلى محلول غروي سائل ويسمى Sol و تسمى ظاهرة التجمد بالبرودة والسيولة بالحرارة بظاهرة انعكاس الأطوار .



ترسيب الدقائق الغروية بوعيا

والسبب في تصلب محلول الجيلاتين بالتبريد وسيولته بالتسخين أن الماء يوجد على صورتين في هذه الأنواع من المحاليل الغروية على صورة ماء حر Free Water وهو الذي يكون وسط الانتشار في حالة السيولة ، والماء المرتبط Bound Water وهو الماء الذي يغلف الحبيبات الغروية في الطور المستتر ( لأنها من النوع المحب لوسط الانتشار ) فعند التبريد يتحول أكثر الماء الحر إلى ماء مرتبط حول الدقائق الغروية فتقل نسبته وتكتسب الحالة صفة الصلابة . أما عند التسخين فإن أكثر الماء المرتبط يترك الحبيبات الغروية إلى وسط الانتشار فتزداد نسبة الماء الحر وتكتسب الحالة صفة السيولة ( شكل ٤ ) .

ويسمى هذا النوع من انعكاس الأطوار بالانعكاس الكامل إلا أن هناك نوع آخر منه يسمى بالانعكاس الأطوار الناقص . فمثلاً زلال البيض يتجمد



( ١ ) ( شكل ٤ ) سيولة الجيلاتين ووصلته (ب)

أ — نسبة الماء الحر من الناعلة وتكتفب الحالة سعة السيولة  
ب — سعة الماء المرتبط من الناعلة وتكتفب الحالة سعة الصلابة

بالنسخين ولا يعود إلى السيولة بالتبريد لذلك يسمى تجمد زلال البيض « تجمداً ».  
Coagulation لاحتلاف العملية عن عملية تجمد محلول الجيلاتين بالتبريد التي تسمى  
« تجمداً » Gelation

ومن خصائص المرويات المتصلبة Gels ميلها إلى التشرب بكميات كبيرة من الماء.  
ويعتبر الجيلاتين مثلاً صليفاً لإثبات هذه الظاهرة و يشترك مع الجيلاتين في ظاهرة  
التشرب Imbibition الخشب وحبوب الشاء ، وتشرب كميات الماء المنصبة حول  
الدقائق الغروية على شكل أغلفة يترايد صدها كلها امتصت قدراً أكبر من الماء  
ويترب على ذلك أبعاد جزيئات المادة المنتشرة عن بعضها وهنا يتداخل عامل آخر  
يحدد من تصاعد الوحدات هو الجاذبية بينها وبين بعضها . فإذا كانت هذه الجاذبية  
كبيرة وضعت حداً لتراكم الأغلفة المائية فلا تنحصر منها المادة إلا قدراً معيناً كما في  
حالة الخشب ويظل الخشب محتفظاً بسله العام سوى زيادة طليقة طرات عليه ، بين  
تباعده وحدات الجيلاتين عن بعضها كلها مكثت أكثر في الماء حتى ينتهي بها الأمر



إلى التحول إلى محلول غروي لفضالة الجاذبية  
والفاسك بين وحداته بالنسبة إلى قوة الشرب  
الهائلة (شكل ٥)



( شكل ٥ )

بعض الخواص العامة للخواص الغروية  
لا توقف خواص المحاليل الغروية على  
تركيبها الكيماوي بل توقف على حالتها  
الطبيعية وأهم خواص الحالة الغروية ما يأتي:

#### ( ١ ) الانتشار خلال الأغشية.

Diffusibility through membranes

أ - حركات الشرب تشرب بالماء بدرجة  
عسوة

ب - جزئات الجيلاتين تشرب بالماء بدرجة  
غير محدودة

من السكوديون والأغشية الحيوانية تكاد تكون مسوية ، ولقد استعملت هذه الظاهرة  
لفصل الشوائب البلورية من المحاليل الغروية وتسمى هذه العملية بعملية الفصل  
النشائي Dialysis ويستعمل لذلك جهاز يسمى بجهاز الفصل النشائي Dialyser يتكون  
في أبسط صورته من كيس مصنوع من أحد المواد العائقة ويوضع داخل الكيس  
المحلول الغروي بما فيه من الشوائب البلورية ويغمر في ماء منقهر متجدد تنتشر المواد  
الذائبة البلورية إلى الخارج باستمرار ويظل في الداخل المحلول الغروي في حالة نقية .  
و يرجع السبب في عدم نفاد الدقائق الغروية خلال الأغشية إلى كبر حجم وحداتها  
بالنسبة إلى فتحات أو ثغوب النشاء .

ويمكن تحصيل هذه الأغشية بدرجات متفاوتة من النفاذية التي توقف على سعة  
ثغورها فمثلا يمكن تحضير أغشية متساوية في درجة نفاذيتها من السكوديون والأغشية  
المجمعة في الهواء ذات نفاذية منخفضة جدا أي ذات ثغوب صيقة جداً ولكن عند  
معاملة مثل هذه الأغشية بالكحول بتركيزات مختلفة ثم غسلها بماء نودد درجة  
نفاذيتها ، وكلما زاد تركيز الكحول كلما زادت النفاذية

### ( ٣ ) ظاهرة تنداى Tyndall phenomenon

هى إحدى الظواهر الضوئية التى يستعان بها للفرقة بين المحلول الغروى والحقيقى ويمكن ملاحظتها إذا أدخل خيط من الضوء فى غرفة مظلمة ثم أثير العيار فى هذه الغرفة فإن درات الغبار السابغة فى فضاء الغرفة تبدو مضاءة إذ مررت فى مسار الضوء . فإذا استبدل جو الغرفة بإضاءة من الزجاج يحتوى على محلول غروى وسط ضوء غوى على أحد جوانبه فإن مسار الضوء يبدو واضحاً غائماً فى المحلول الغروى الذى يبدو واقعاً فى غير المنطقة المضاءة وتفسير ذلك أنه عند تصادم أشعة الضوء بال دقائق الغروية فإن الأشعة الضوئية تنثر وتستقبل وهذا ما يفسر عنه بظاهرة تنداى . وحيث أنه يحدث للصوء فى هذه الحالات أن تنحرف الموجات القصيرة ( وهى الموجات الزرقاء ) بدرجة أكبر من انحراف الموجات الطويلة ( وهى الموجات الحمراء ) فإن الضيف الضوئى ينفصل انفصالاً جزئياً وهذا ما يشاهد عند إمرار شعاع ضوئى فى محلول غروى يكون فيه الطور المنتثر عديم اللون كحلول النشاء الغروى فى الماء فإن المحلول يبدو أزرقاً باهتاً إذا سقط عليه الضوء من الجانب أما إذا استبدل المحلول الغروى فى الإضاءة بمحلول حقيقى جيد التحصير وأمر الشعاع الضوئى فيه فإن مسار الضوء فى هذا المحلول لا يمكن رؤيته ذلك لأن جزيئات أو أيونات المادة الذائبة فى المحلول الحقيقى تكون من الصغر بحيث لا تنعكس الضوء الساقط عليها .

### ( ٤ ) الحركة البراونية Brownian movement

يمكن مشاهدة هذه الظاهرة بوضوح بواسطة الميكروسكوب اللاهاتى Ultramicroscope ويختلف هذا الميكروسكوب عن الميكروسكوب العادى فى أن حقل المحصر فيه مطلباً وأن مصدر الضوء هاجئياً وتستعمل فيه لوحة شامخة للفحص تعرف بأشريحة ذات القاع المجوف Hollow-ground slide يوضع فى تحويرها المحلول الغروى ( ويفصل أنه يكون من النوع الكاره لوسط الانتثار مثل ايسروكسيد الحديدىك الغروئى أو الحبر الصينى المخفف بالماء ) ثم يسقط الضوء الجائى بحيث تحترق حزمة المحلول الموضوع فى التجويف . فإذا نظرنا فى صيدية

الميكروسكوب فإننا نرى نقطة لامعة كثيرة الحركة والاهتزاز وكل نقطة منها هي عبارة عن ظل دقيقة عروية . أما الاهتزاز والحركة التي تسمى بالحركة البراونية ( نسبة إلى روبرت براون سنة ١٨٢٧ ) فتعزى إلى دفع جزيئات وسط الانتثار للدقائق العروية دفعا غير منتظم في كل اتجاه . وما هو جدير بالملاحظة أن رفع درجة حرارة السائل الذروي يزيد من الحركة البراونية لدقائقه العروية نظراً إلى زيادة الطاقة الحركية لجزيئات وسط الانتثار .

#### ( ٤ ) الشحنات الكهربائية Electric Charges

تحمل الدقائق العروية شحنات كهربائية تكون مودعة على سطحها السلكي ولا تكون قاصرة على ذراتها . هذه الشحنات الكهربائية قد تكون من النوع الموجب في نوع من الغرويات مثل ايدروكسيد الألومسيوم والحديدك والكروم وبعض الأصباغ القاعدية كأزرق الميثيلين ، وقد تكون من النوع السالب في أنواع أخرى من الغرويات مثل محاليل العصا الذهب وكبريتور الزرنيخ وبعض الأصباغ الحامضية كالأحمر الكونغو Congo Red وكذلك الطين الذروي

وتحمل الكائنات الحية الدقيقة شحنات كهربائية . مثلاً خلايا البكتيريا والطحالب من النوع الوحيد الخفية وجراثيم فطر عيش العراب Mushroom وكذلك كرات الدم تحمل كلها شحنات كهربائية من النوع السالب

أما سبب وجود الشحنات الكهربائية على الدقائق العروية فيعزى إلى أنه نظراً إلى نشاط أسطح الدقائق العروية المشتتة فإن الماء للامس لهذه الأسطح في وسط الانتثار يتأين إلى أيونات الأيدروجين الموجبة والأيدروكسيل السالبة . وبعض هذه الدقائق يجذب إلى سطحه الأيدروجين فتكتسب بذلك شحنة الموجبة كما هو الحال في أيدروكسيد الحديدك . وقد تجذب دقائق بعض الغرويات إلى سطحها الأيدروكسيل فتصبح بذلك سالبة الشحنة مثل كبريتور الزرنيخ ، وفي كلتا الحالتين يظل الأيون المتروك مكرراً علقاً محيطاً بسطح الدقائق العروية . وفي حالة إضاءة محلول الكتروليتي تتبادل شحنات الدقائق العروية مع الأيونات المصادرة في المحلول



الالكتروليتي بينما تتعادل شحنات الأيونات الأخرى في المحلول الكتروليتي مع الأيونات المخالفة للذئفة العروية .

فمثلا عند إضافة محلول كلوريد الصوديوم إلى حالة أمروكسيد الحديدك العروية فإن أيونات الكلوريد السالبة تنجذب إلى دقائق إندروكسيد الحديدك الموجبة فتصادم شحناتها وتعمل على ترسيبها ، بينما تعادل أيونات الصوديوم الموجبة أيونات الإندروكسيل السالبة التي كانت تعلق الدقائق العروية .

ويمكن إثبات وجود الشحنات الكهربية بآلية تحديد نوعها إذا وضع المحلول العروى في مجال كهربائي فتتحرك الدقائق العروية امتثرة إلى أحد القطبين الكهربائيين حسب نوع الشحنة الكهربية التي تحملها هذه الدقائق . فمثلا عند إمرار تيار كهربائي في



( شكل ٦ )

محلول عروى من النوع السالب مثل كبريتور الرنيج فإن الدقائق تتجه كلها إلى القطب الموجب ، أما إذا استبدل بمحلول عروى من النوع الموجب وليكن إندروكسيد الحديدك فإن الدقائق تتحرك إلى القطب السالب ويطلق على عملية انتقال دقائق العرويات إلى أحد القطبين الكهربائيين بظاهرة الحمل الكهربائي Cataphoresis ( شكل ٦ )

ويمكن تعيين نوع الشحنة الكهربية للمحلول العروى باستعمال ورق الترشيح الخالي من الرماد Ashless filter paper فإذا وضعت نقطة من محلول أزرق الميثيلين ( وهو موجب الشحنة ) على ورقة الترشيح تجدد أن جزيئات الصبغة انتشرت مع

الماء بينما إذا استعمل محلول أحمر الكونزو ( وهو سالب الشحنة ) فإن جزيئات الصبغة لا تنتشر مع الماء بل تظل في مكانها وينتشر الماء بمفرده . وسيل ذلك أن ورقة الترشيح

جهاز لتعيين نوع الشحنة على الدقائق العروية . لاحظ اتجاهات الدقائق العروية الواحدة إلى القطب السالب

تكتسب شحنة سالبة عندما تفتل بالماء . وحيث أن جزيئات أزرق الميثيلين موجبة الشحنة فإنه يحدث تجاذب بين جزيئاتها وجزيئات ورقة الترشيح فتنتشر المادة الملونة مع الماء . أما في حالة أحمر الكونزو فإن جزيئاتها السالبة تتناثر مع جزيئات ورقة الترشيح وينتشر الماء بمفرده تاركاً الصبغة في مكانها .

ونظراً إلى الحساسية الشديدة للمحاليل العروية الكارهة لوسط الانتثار ( شبه المعلقات ) Suspendoids للمحاليل الألكتروليتية المخففة فإن ذلك يفسر لنا كيف تكونت دلتا الانهدار عند التقاء مائتي الصبغ المحمل بالطين الغروي بمياه البحر المحترقة على أملاح متنوعة ذائبة . عند التقائهما تتبادل شحنات الطين الغروي السالبة مع الأيونات المضادة في الشحنة فيترسب الطين وتكون الدلتا .

أما المحاليل العروية من النوع المحب لوسط الانتثار ( شبه المستحلبات ) Emulsoids فهي أقل حساسية في استجابتها للترسيب بالمحاليل الألكتروليتية . فإذا أصيب محلول شبه مستحلب إلى محلول شبه معلق غروي فإن ذلك يسبب صعوبة ترسيب شحم المعلق نظراً إلى إحاطة دقائقه بدقائق شبه المستحلب الذي يسمى في هذه الحالة « بالغروي الحافظ » Protective colloid وقد استندت ظاهرة الحفظ لغرويات شبه استحلبة في صناعة ألواح التصوير الفوتوغرافي . فإذا أضيف محلول من برومور البوتاسيوم إلى محلول من نترات الفضة فإنه يتكون راسب كبير الحبيبات لا يصلح لتغطية ألواح التصوير . أما إذا أضيف محلول الجيلاتين إلى محلول برومور البوتاسيوم قلل وضفة محلول نترات الفضة فإنه يتكون راسب غروي متجانس ووحده من الدقة بحيث تنسب هذا العرض تماماً .

#### ( هـ ) التجمع السطحي Adsorption

تتأثر المحاليل العروية بعظم الأسطح المعرضة منها بالنسبة إلى دقائقها الصغيرة المنتثرة . ومن المعروف أن الأسطح الفاصلة بين طوران لا يمزجان كالماء والهواء أو الماء واللاير تعاني نوعاً من التوتر السطحي يسمى بالتوتر الليني وتزداد قيمة هذه

الزبد زيادة كبيرة جداً في المحاليل الغروية لعظم لأسطح الفاصلة بين الطور المتناثر ووسط الانتثار ، وتميل جزيئات المواد المختلطة بالمحاليل الغروية إلى التكاثر على أسطح النقاط الغروية وهذا ما يعبر عنه بخاصية التجمع السطحي للغرويات . لذلك تعتبر الغرويات من أحسن المراحل المساعدة لأنها تساعد على تلامس المواد المتفاعلة على أسطحها بخاصية التجمع السطحي .

وتأثر عملية التجمع السطحي بدرجة كبيرة بوجود الألكتروليتات . فإذا غمست قطعة من ورق الترشيح العادي في محلول غروي سالب الشحنة ( كأحمر الكولمو ) فإن ورقة الترشيح تصنع باللون الأحمر . وإذا غرست ورقة الترشيح من النوع الحامض من الرماد ( النقي ) هذه المعاملة فإنها لا تصبغ ، مطلقاً إلا إذا أضيف إلى محلول الصبغة محلولاً متعادلاً من كلوريد الصوديوم . وتفسير ذلك أن ورق الترشيح النقي يكتسب شحته سالبة إذا ابتل بالماء . وعن ذلك فإن جزيئاته تتنافر مع جزيئات الصبغة السالبة . أما في وجود الألكتروليت ( أو الرماد الموجود في ورق الترشيح العادي ) فإن الشحنة السالبة لورق الترشيح تتعادل مع الأيونات الموجبة للألكتروليت وعندئذ تتجمع دقائق أحمر الكولمو تجمداً سطحياً على ورقة الترشيح وتصبغها .

وبخاصية التجمع السطحي أثر كبير في حياتنا الاقتصادية إذ تستعمل في ترويق المحاليل الملونة . فإذا خلط محلول ملون خطأ جيداً بمحلول الفهم الحيواني ورشح الخليط فإن المترشح يبدو دائماً عديم اللون . وقد استخدمت هذه الظاهرة في ترويق المحاليل السكرية التي يحضر منها السكر . كما أن من خصائص الفهم الحيواني امتصاص الغازات نفس النظرية ، لذلك يستعمل في ملء الكمامات . كما أن كثيراً من عمليات الزراعة والصباغة تتوقف على خاصية التجمع السطحي .

### الانتشار Diffusion

إذا ألقيت قطعة من كبريتات النحاس في مخبر مملوء بالماء فإنه يلاحظ بعد مدة تلون الماء في الجزء السفلي من المخبر باللون الأزرق ذلك لأن كبريتات النحاس قد

ذات في الماء المحيط بها، فإذا ترك المحلول بعض الوقت أخذ اللون الأزرق في الانقراض تدريجياً من أسفل إلى أعلى في طبقات متتالية تنحف في رقتها كلما اتجهنا إلى أعلى المحلول ثم يتلاشى الفرق في لون الطبقات تدريجياً بعض الوقت إلى أن تصبح درجة اللون كلها واحدة أي أن المادة «لدائمة» أو المنتشرة أصبحت في حالة توازن

عندما دأبت كبريتات النحاس في ماء الذي في أسفل المحلول كونت علولا حقيقياً أي أنها انصبت إلى أيونات مستقلة بعضها عن البعض ولها القدرة على التحرك في جميع الاتجاهات . وحيث أن تركيز هذه الأيونات في قاع المحلول أعلى منه في طبقاته العليا فإن سرعته انتقال الأيونات من أسفل إلى أعلى تكون أكبر من سرعة انتقالها من أعلى إلى أسفل . وتستمر هذه الحالة حتى يتساوى تركيز الأيونات المنتشرة في جميع أجزاء المحلول .

وسمى حركة الأيونات في المحلول «بالانتشار» ويكون تحركها بفضل طاقتها الحركية محالة أن تتوزع توزيعاً منتظماً في حيز الانتشار .

إذا ألقينا في مثلنا السابق بلورة من سكر القصب مع بلورة من كبريتات النحاس فإن بلورة السكر تذوب في ماء المحلول مكونة علولا جزيئياً من سكر القصب وتأخذ جزيئات السكر في الانتقال من أسفل المحلول إلى أعلاه أي من نقطة تركيز جزيئات السكر فيها عالية إلى نقطة يكون تركيز جزيئات السكر فيها أقل ، أي أنها تنتشر من الأخرى نفس النظام الذي انتشرت به أيونات كبريتات النحاس كأنها لم تكن موجودة في المحلول وذلك إذا اعتبرنا أن جزيئات المواد الأخرى المنتشرة لا تؤثر في معدل حركتها . ويلاحظ أيضاً أن جزيئات أو أيونات الدائب تنتشر مستقلة تماماً عن انتشار جزيئات السائل المذيب .

### العوامل التي تؤثر في معدل انتشار المادة :

( ١ ) تركيز المادة المنتشرة : تنتشر المواد من المنطقة التي يكون تركيزها فيها عالياً إلى منطقة أخرى يكون تركيزها فيها منخفضاً بمعدل أسرع من العكس

( ٢ ) حجم وزن المادة المنتشرة . تتناسب سرعة الانتشار تناسباً عكسياً مع حجم الوحدة المنتشرة ( الذرات أو الجزيئات ) ومع الوزن الذري أو الجزيئي للمادة المنتشرة . فمثلاً تنتشر أيونات الأيدروجين بمعدل أسرع من انتشار كل من الأوكسيجين وثنائي أوكسيد الكربون ذلك لأن أيونات الأيدروجين أصغر حجماً من أيونات كل من الأوكسيجين وثنائي أوكسيد الكربون . كما أن أيونات الكلور أسرع في الانتشار من أيونات الحديد لأن الوزن الذري الأول ( ٣٥,٥ ) أصغر من الوزن الذري الثانية ( ٥٥,٨ ) . ولذا تساوت الوحدات المنتشرة في الحجم واختلفت في الوزن فإن أثقلها وزناً أبطأ ما انتشاراً .

( ٣ ) درجة الحرارة . تردد الطاقة الحركية للوحدات المنتشرة يرفع درجة الحرارة معدل انتشارها . ذلك لأنه في التفاعلات الكيميائية إذا رفعت درجة حرارة المواد المتفاعلة عشرة درجات مئوية فإن سرعة التفاعل الكيميائي تتضاعف أو تزيد إلى ثلاثة أمثاله سرعتها الأولى ، أما في التفاعلات الطبيعية - كالانتشار - فإن رفع درجة الحرارة بنفس القيمة يزيد سرعتها ١,٢ إلى ١,٣ من سرعتها الأولى وتسمى هذه الزيادة بالمعامل الحراري Temperature coefficient

## الباب الثالث

### الازموزية او الانتشار الغشائي للسوائل.

#### Osmosis



كان Abbe Nollet عام ١٨٤٨ أول من لاحظ ظاهرة الازموزية عندما ملا مثانة خنزير بالكحول ثم ربط فمها وأنها في الماء فلاحظ انتفاخها بدرجة كبيرة قادت الانفجار . وعندما أعاد التجربة بطريقة معكوسة بأن ملا المثانة بالماء ثم وضعها بعد ربطها في الكحول امكشت المثانة بدرجة كبيرة . أهميت هذه النتائج زهاء القرن حتى أجرى Dutrochet تجاربه على الازموزية فلاحظ أنه عندما ملا المثانة بمحلول منحل أو مكوي ووضعها في ماء أن الماء يدخل من الوسط الخارجي ( الماء النقي ) بمعدل أسرع من انتقاله من الداخل ( المحلول اللعوي أو السكرى ) وترتب على ذلك ازدياد حجم المحلول في المثانة محدثاً ضغطاً على الجدر الداخلية للمثانة بحيث أن هذا الضغط نشأ عن دخول الماء إلى المحلول فقد أطلق عليه و الضغط الازموزي للمحلول ، ولا يقاس إلا عندما تحدث حالة الاتزان ويبطل دخول الماء إلى داخل الكيس .

وبما نحب ملاحظته أن الازموزية لا يمكن مشاهدتها إلا إذا كان الكيس من الأغشية التي تنفذ المذيب بدرجة أكبر من المادة الذائبة .

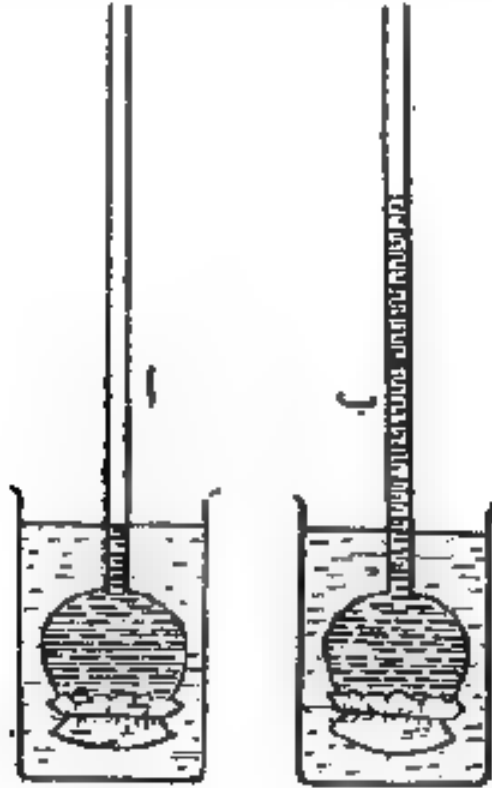
والأغشية بالنسبة إلى قابلية إمرارها للواد تنقسم إلى ثلاثة أقسام :

- ١ — إذا سمح الغشاء لجزيئات المادة الذائبة والمذيب بالتعاد حلاله مسمى غشاء منفذاً Permeable membrane مثل ورق الترشيح .
- ب — إذا سمح الغشاء لجزيئات المذيب ولم يسمح لجزيئات المادة الذائبة بالتعاذ مسمى الغشاء شبه منفذ Semi-permeable membrane
- ج — أما إذا لم يسمح لجزيئاتها بالتعاذ فإنه يصبح غير منفذ Impermeable membrane

ولا يجب عند وصف الغشاء ذكر نوع نمادته فقط ، فقد يكون الغشاء غير منفذ لمادة ولكنه منفذ لمادة أخرى . لذلك فإنه يجب عند وصف نمادية الغشاء ذكر نوع المادة التي ينفذها أو لا ينفذها .

والأغشية منها ما هو طبيعي كالثانة الحيرانية وجدر الخلية ومنها ما هو صناعي كورق السيلوفان والبارشمنت وغشاء السكلوديون .

وهناك أجهزة كثيرة تستعمل لقياس الأسمورية أبسطها قمع نيسل المعروف Thistle-tunnel ذي الساق الطويلة بعد أن يربط على فوهته قطعة من ورق السيلوفان وربطاً محكم ( شكل ٧ ) وهناك أيضاً كيس السكلوديون ويستخدم في حمل الأسموسكوب Osmoscope بأن يملأ الكيس بمحلول محلي أو سكري ويمر في ماء بحيث يتساوى



( شكل ٧ )

١ - في مبدأ التجربة كان سطح المحلول داخل القمع مساوياً في الكأس  
٢ - بعد انتهاء التجربة - لاحظ ارتفاع المحلول ونسبته في القمع

سطح المحلول في الداخل مع سطح الماء في الخارج بعد أن يكون قد دبط على فوهة الكيس  
أمنوة زجاجية مضبوحة ثم يترك الكيس لبعض الوقت فيشاهد ارتفاع السائل تدريجياً  
في الساق الزجاجية حتى يأتي الوقت الذي يمتنع فيه السائل عن الارتفاع عندئذ يكون  
قد حدث الاتزان ويكون ثقل عمود السائل قد ضغط على سطح الغشاء الداخلي بقوة  
تساوي الهواء التي يدخلها الماء من الخارج وهي قوة الضغط الأزموزي للمحلول .  
وبلاحظ أن هذه الأغشية ليست شبيهة بمنفذ تماماً لأنه إذا تركت التجربة بعض  
الوقت فإن عمود الماء يهبط ثانية .

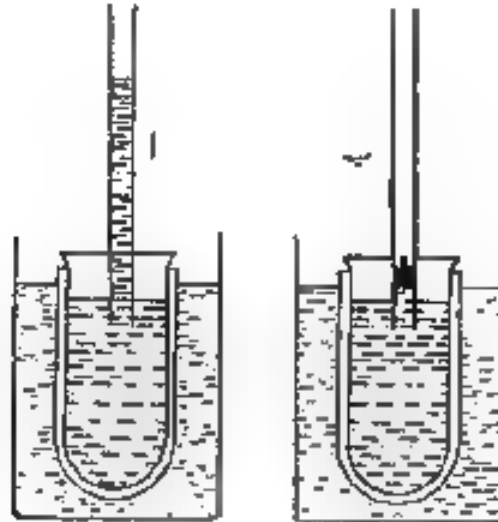
وأحسن الأغشية شبه المنفذة هو المنصرع من مادة حديد وسياور النحاس لأنه يمتنع  
المكروبات والأملاح بنعاً يات من النفاد خلاله ويحضر بتفاعل محلول حديد وسياور  
البوتاسيوم مع محلول كبريتات النحاس . والعيب الوحيد لهذا الغشاء هو سهولة  
كسره وعدم تحمله الضغوط الأزموزية العالية ولكن يمكن التغلب على هذه الصعوبة  
بترسيب هذا الغشاء في مسام إمام خرفي خاص . والطريقة أن يملأ الوعاء الخرفي بالماء  
حتى تشرب جميع مسامه ثم يرفع من الماء ويملا بمحلول كبريتات النحاس ( ٢,٥ جم  
في اللتر ) ثم يصير الوعاء إلى عنقه في محلول من حديد وسياور البوتاسيوم ( ٢ جم  
في اللتر ) ثم يترك كذلك لبضع ساعات . فعندما يتلاقى السائلان في مسام الوعاء الخرفي  
يترسب الغشاء داخل المسام ويكون الغشاء رقيقاً ولكنه يتحمل صدمات عالية نظراً  
إلى قوته التي اكتسبها من الوعاء الخرفي . بعد ذلك يسل الوعاء عملاً جيداً ويملا  
بمحلول المراد قياس ضغطه الأزموزي وليكن محلولاً سكرياً مثلاً ثم تعد فوهة الوعاء  
بسدادة محكمة من المطاط محترقة أمنوة زجاجية فإذا وضع الوعاء في ماء نقي فإن الماء  
يتعد إلى داخل الوعاء بعدد أسرع من خروج حوصلة لقوايين الانتشار) ويسمى  
الارتفاع في ساق النعش إلى أن يصل إلى نقطة يظل عندها ارتفاع العمود ثابتاً لمدة  
أيام عندئذ يكون ضغط عمود السائل مساوياً للضغط الأزموزي لهذا المحلول السكري  
المحصّر . وقد أمكن بهذا الجهد إثبات أن الضغط الأزموزي لأي محلول يتناسب  
مردياً مع درجة تركيزه والجدول الآتي يبين هذه العلاقة :



الضغط الأزمورى	الضغط الأزمورى	التركيز بالجرام فى كل
التركيز	( سم من الزئبق )	١٠٠ جم من الماء
٥٣,٨	٥٢,٨	١
٥٠,٨	١٠١,٦	٢
٥٢,٢	٢٠٨,٢	٤
٥١,٣	٣٠٧,٥	٦

ويلاحظ من هذا الجدول أن النسب المئوية فى العمود الأخير ثابتة تقريباً مع التجاوز عن الخطأ التجريبى .

حتى أنه إذا وضع ثقل مماثل لقوة الضغط الأزمورى للمحلول الكرى المستعمل فوق سطح السائل فى الأنبوبة المتصلة بالوصلة الخرفى فإن هذا الثقل يمنع ارتفاع السائل فى الأنبوبة الزجاجية ، وعلى ضوء هذه التجربة فإنه يمكن تعريف الضغط الأزمورى بالضغط اللازم تسليطه على محلول ذو تركيز ما لمنع ازدياده فى الحجم نتيجة انتقال الماء إليه . ( شكل ٨ )



( ب ) ( شكل ٨ ) ( ا )

( ا ) ارتفع السائل فى السان بقوة الضغط الأزمورى ( ب ) لم يرتفع السائل عندما وضع ثقل على سطح السائل فى السان مساو لقوة الضغط الأزمورى للمحلول الداخلى فى مبدأ التجربة

أما إذا استعمل في هذه التجربة غشاء منفذاً لكل من جزيئات الماء والسكر فإن عمود السائل يرتفع ارتفاعاً مبدئياً ثم لا يلبث أن ينخفض ليساوى سطحه في الداخل سطح الماء في الخارج . والسبب في هذا الارتفاع المبدئي هو أن الطاقة الحركية لجزيئات الماء أكبر منها لجزيئات السكر فيكون انتقال جزيئات الماء للداخل أسرع من انتقال جزيئات السكر إلى الخارج ، ولكن معني الوقت وبسبب جزيئات السكر تسريجها للداخل يتساوى تركيزها في الداخل والخارج ، وتلاشي الريادة الطارئة في حجم المحلول وينخفض سطحه إلى وضعه الطبيعي .

وبحيث أن قيمة الضغط الأزموزي توقف على عدد الدقائق الموجودة في حجم معين من المحلول فإن الضغط الأزموزي للمحلول العروى يكون أقل من الضغط الأزموزي للمحلول الحقيقي من سكر القصب بفرص تساوي درجة تركيز المحلولين السابقين . كذلك فإن قيمة الضغط الأزموزي للمحلول السكري تكون أقل منها في حالة محلول كلوريد الصوديوم بفرص تساوي تركيزهما كذلك

وتفسير ذلك أنه في حالة المحلول العروى تتركب دقائقه من تجمع عند كبير من جزيئات المادة . فلو فرضنا أن عدد جزيئات المحلول كانت ١٠٠ جرىء قبل أن يكون غروباً . وأنه لكي يكون غروباً يجب أن تتجمع كل عشرة جزيئات لتصبح دقيقة عروية فإن المحلول العروى الناتج يحتوي على عشرة دقائق في حين أن المحلول السكري لا يزال يحتوي على ١٠٠ جرىء . لأن له نفس التركيز . أما في حالة محلول كلوريد الصوديوم فنظراً لأنه محلول الكتروليتي فإن جزيئاته لا تبقى على حالتها الطبيعية كما في محلول السكر بل تتأين في المحلول ويكون التأين بمعدل ٧٥٪ وعلى ذلك يصبح عدد الدقائق في محلول كلوريد الصوديوم المساوي للمحلولين السابقين في التركيز ١٧٥ دقيقة وهذا هو السبب في ارتفاع قيمة الضغط الأزموزي للمحاليل الحقيقية المتأينة عن المحاليل الأخرى غير المتأينة والعروية .

وإذا أذيب الوزن الجزيئي لمادة غير متأينة في لتر من الماء أعطت ضغطاً أزموزياً قدره ٢٢,٤ ضغطاً جريبياً في درجة الصفر المئوي تماماً كما في حالة الغازات فإن الوزن

الجري لآى عارى درجة الصفر وتحت الضغط الجوى المادى يشتمل حيزاً قدره ٢٢,٤ لتر آ فإذا ضغط هذا الغاز ليشمل حيزاً قدره ١ لتر واحداً فإن ضغطه يزداد إلى ٢٢,٤ ضغطاً جويًا .

أما في حالة المحاليل المتأينة كما في حالة محلول كلورور الصوديوم السابق الإشارة إليه فإن ضغطه الأزموى يصحح  $٢٢,٤ \times ١,٧٥ = ٣٩,٢$  ضغطاً جويًا .

ويمكن قياس الضغط الأزموى لآى محلول بطريقة قياس ارتفاع عمود الماء (أو الزئبق) وتحريكه إلى صفر جوى . إلا أن هذه الطريقة من الدقة بحيث تحتاج إلى احتياطات خاصة و احتياطات دقيقة لمرونة الغشاء . لذلك رؤى الاستعانة بها بتقدير قيمة الضغط الأزموى للمحاليل بطرق طبيعية وهي ارتفاع درجة غليانها و انخفاض درجة تجمدها . فإذا علمنا أن قيمة خفض درجة التجمد لمحلول جريش لماده غير متأينة هو  $١,٨٦$  درجة مئوية ، وأب الضغط الأزموى لهذا المحلول يعادل ٢٢,٤ ضغطاً جويًا ، أصبح السهل إيجاد العلاقة بين خفض درجة التجمد والضغط الأزموى

$$\frac{٢٢,٤ \times \text{قيمة الخفض في درجة التجمد}}{١,٨٦} = \text{وعلى ذلك فالضغط الأزموى}$$



## الباب الرابع

### الخلية النباتية وعلاقتها بالماء.

#### The Water Relations and Plant Cell



#### أهمية الماء للنبات .

يعتبر الماء من أهم مكونات النبات لأنه أساسي في تكوين البروتوبلازم وهو المادة الحية الأساسية في جميع الكائنات الحية وتوضح أهميته من دراسة النقاط الآتية .

١ - يكون الماء الطور الناثر الذي يكثر فيه الدقائق المادية التي يتكون منها البروتوبلازم فإذا انجم الماء جم البروتوبلازم ووقفت جميع العمليات الطبيعية والكيميائية وحيوية التي تنتج عنها ظاهرة الحياة .

٢ - يدخل الماء في تركيب جسم النبات بنسب تختلف باختلاف النبات وباختلاف أجزائها فقد تصل نسبته إلى ٩٥ ٪ من الوزن الرطب Fresh weight في الأجزاء النضجة الخشبية . وفي مواضع التخزين كالسوق والجذور الندية من ٦٥ - ٧٠ ٪ وفي الأجزاء الخشبية كالسوق من ٤٥ - ٥٠ ٪ أما في البذور الجافة فلا تتعدى نسته ١٢ ٪

٣ - الماء ضروري لتكوين جزيء الكربوهيدرات في النبات نتيجة لعملية التحميل الكربوني. فبالتحاد الماء مع ثاني أكسيد الكربون ومع وجود المادة الحصرية وبمساعدة الطاقة المستمدة من ضوء الشمس يبني النبات المركبات الكربوهيدراتية .

٤ - الماء ضروري لإتمام كثير من العمليات الكيميائية التي تحدث داخل الخلية والتي تقوم بها الإنزيمات . فبالإضافة للإنزيمات مثلاً يلزمه جزيء من الماء لكي يحلل سكر الفسب إلى الجلوكوز والفركتوز طبقاً للمعادلة :

ك<sub>١٢</sub> بد<sub>١١</sub> + بد<sub>١</sub> ← ك<sub>١٢</sub> بد<sub>١٢</sub> + ك<sub>١٣</sub> بد<sub>١٣</sub> (فركتوز)  
 ٥ - الماء هو الوسط الوحيد الذى يذاب فيه الأملاح التى تمتصها النباتات  
 لاستعمالها في بناء جسمه وكذلك تذاب فيه جميع المواد التى تذوقل في النبات من خبيث  
 إلى أخرى، ولا بد للنبات من كيات و قرة منه لكي يؤدى وظائفه ولا بد لذلك من  
 أن تصل سببه في النبات إلى درجة التشبع .

٦ - وهو ضرورى للأجزاء النخضة الحديثة الخالية من الأنسجة النطمية  
 كأطراف الساقان والجدور الحديثة فإذا ما دخل الماء إلى خلاياها امتلأت خمراتها  
 العصارية وترسبت و ستمامت جدرها فإذا منع الماء عنها تراحت أطرافها و تحنت  
 لفقد الماء .

٧ - ونظراً لأن العارات قابلة للذوبان في ماء فإنها تدخل النبات وتخرج منه  
 بسهولة من طريق الماء الذى تمتصه جدر الخلايا السيليولوزية ، وذلك في النباتات  
 المائية بنوع خاص .

### معرفة الخلية بالماء :

قدما أن الخلية النباتية تحتوى على لجوء عصارية كبيره معلومة بمحلول من الماء  
 وبعض المواد الذائبة كالكريات والأملاح والأحماض العنصرية مما يجعل المحلول  
 الفجوة صغراً آموريا تختلف قيمته باختلاف كمية ونوع المواد الذائبة فيه .

ولكى تصور علاقة الخلية بالماء أو بالوسط الخارجى نفرض أن هناك خلية  
 منفردة وأن هذه الخلية موضوعة في سائل ماء هذا السائل إما أن يكون ماء نقياً أو  
 محلولاً مخففاً من الذائبات أقل تركيزاً من العصير الخلوى للفجوة ويسمى المحلول في  
 هذه الحالة بالمحلول ناقص التركيز أو ناقص الأزموزية Hypotonic أما إذا كان  
 المحلول الخارجى أكثر تركيزاً من العصير الخلوى للفجوة سمى المحلول زائد التركيز  
 أو زائد الأزموزية Hypertonic أما إذا تساوى تركيز المحلول الخارجى وتركيز  
 العصير الخلوى سمى المحلول سوى التركيز أو سوى الأزموزية Isotonic

ك<sub>١٢</sub> بد<sub>١١</sub> + بد<sub>١</sub> ← ك<sub>١٢</sub> بد<sub>١٢</sub> + ك<sub>١٣</sub> بد<sub>١٣</sub> (فركتوز)  
 ٥ - الماء هو الوسط الوحيد الذى يذاب فيه الأملاح التى تمتصها النباتات  
 لاستعمالها في بناء جسمه وكذلك تذاب فيه جميع المواد التى تذوقل في النبات من خبيث  
 إلى أخرى، ولا بد للنبات من كيات و قرة منه لكي يؤدى وظائفه ولا بد لذلك من  
 أن تصل سببه في النبات إلى درجة التشبع .

٦ - وهو ضرورى للأجزاء النخضة الحديثة الخالية من الأنسجة النطمية  
 كأطراف الساقان والجدور الحديثة فإذا ما دخل الماء إلى خلاياها امتلأت خمراتها  
 العصارية وترسنت و ستمامت جدرها فإذا منع الماء عنها تراحت أطرافها و تحنت  
 لفقد الماء .

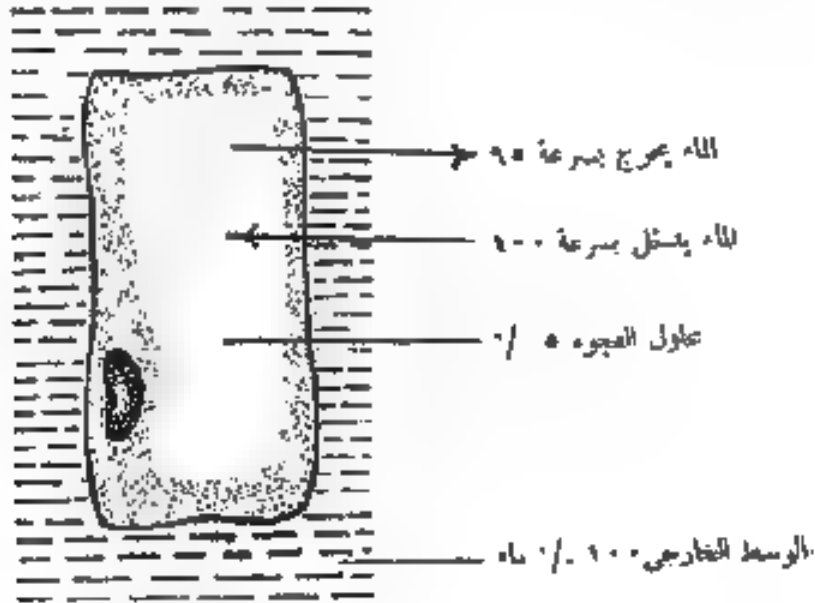
٧ - ونظراً لأن العارات قابلة للذوبان في ماء فإنها تدخل النبات وتخرج منه  
 بسهولة من طريق الماء الذى تمتصه جدر الخلايا السيليولوزية ، وذلك في النباتات  
 المائية بنوع خاص .

### معرفة الخلية بالماء :

قدما أن الخلية النباتية تحتوى على لجوء عصارية كبيره معلومة بمحلول من الماء  
 وبعض المواد الذائبة كالسكريات والأملاح والأحماض العنصرية مما يجعل المحلول  
 الفجوة صغلاً أرموريا تختلف قيمته باختلاف كمية ونوع المواد الذائبة فيه .

ولكى تصور علاقة الخلية بالماء أو بالوسط الخارجى نفرض أن هناك خلية  
 منفردة وأن هذه الخلية موضوعة في سائل ماء هذا السائل إما أن يكون ماء نقياً أو  
 محلولاً مخففاً من الذائبات أقل تركيزاً من العصير الخلوى للفجوة ويسمى المحلول في  
 هذه الحالة بالمحلول ناقص التركيز أو ناقص الأرموزية Hypotonic أما إذا كان  
 المحلول الخارجى أكثر تركيزاً من العصير الخلوى للفجوة سمى المحلول زائد التركيز  
 أو زائد الأرموزية Hypertonic أما إذا تساوى تركيز المحلول الخارجى وتركيز  
 العصير الخلوى سمى المحلول سوى التركيز أو سوى الأرموزية Isotonic

ونعرض الآن أن الخلية موضوعة في ماء نقي وأن الغشاء البروتوبلازمي للخلية شبه منفذ حقيقى . هذا الغشاء البروتوبلازمي شبه المنفذ يفصل بين محلولين : أولهما الفجوة ومحلولها أكثر تركيزاً من الوسط الخارجى (الماء النقي) وثانيهما الماء النقي وهو ناقص التركيز بالعسة لمحاول الفجوة . وعلى ذلك فكل ما يدخل الخلية إلى الفجوة أو كل ما يخرج منها لا بد أن يمر على الغشاء البروتوبلازمي شبه المنفذ . تفل المواد الدائمة في الفجوة باقية داخل الخلية لأن الغشاء البروتوبلازمي لا يسمح لها بالانفاذ إلى الخارج ولكنه يسمح لماء الفجوة بالانفاذ إلى الخارج كما يسمح للماء النقي بالوسط الخارجى بالانفاذ إلى داخل الفجوة . ولما كان تركيز الماء في الخارج ( ١٠٠ ٪ ) أقل منه في الداخل ( أقل من ١٠٠ ٪ ) فإن سرعة دخول الماء إلى الخلية تكون أكبر من سرعة خروجه منها طبقاً لقوانين الانتشار ، ويترتب على ذلك زيادة حجم الفجوة العصارية نتيجة لدخول الماء إليها فيتحقق العصير الخلوى وتضغط الفجوة العصارية التي ازدادت في الحجم على الغشاء البروتوبلازمي فيتمدد ويستمر في التمدد



( شكل ٩ )

خلية نائية موضوعة في الماء

لاحظ أن الماء يدخل الخلية بمعدل أسرع من خروجه

حتى يلامس الجدار الخلوى في النهاية ويضغط عليه . وما كانت قابلية الجدار الخلوى للتمدد محدودة نظراً لقلة مرونته فإنه يضغط بدوره على العشاء البروتوبلازمى ويعيق نموده (شكل ٩) .

ويمكن تشبيه جدار الخلية الخلوى وغشائها البروتوبلازمى مع الفجوة بكرة القدم . فلكرة غلاف خارجى وقابلية للتمدد محدودة لأنه مصنوع من الجلد . ويقابل الجدار الخلوى في مثك ، والآنوبة الداخلية وقابليتها للتمدد غير محدودة لأنها مصنوعة من المطاط . وتقابل في مثلثا العشاء البروتوبلازمى . أما الهواء الموجود داخل أنوبة المطاط الداخلية فيمثل العصير الخلوى الموجود داخل الخلية ، والهواء الذى يضغط في هذه الأنوبة الداخلية يمثل الماء الذى يتدفق إلى داخل الخلية ويريد من حجمها إذا وضعت في ماء النقي . وعلى ذلك فمتسماً يدفع الهواء إلى داخل الأنوبة الداخلية بأما تكون فيه دمه غير ملاصقة الغلاف الخارجى وبعد دفعه نأخذ في التمدد إلى أن تلامس الغلاف الخارجى فتضغط عليه ويضغط عليها ويحد من تمددها .

نعود الآن إلى الخلية التى دخل إليها الماء فتمدد العشاء البروتوبلازمى حتى يلامس الجدار الخلوى ويضغط عليه . فلو كان هذا الجدار الخلوى صلباً فإنه ينمىق أو ينفجر . كما يحدث عند وضع نبات من النباتات التى تعيش في الماء المالح في ماء عذب أو مالح . أما إذا كان متيناً كما هو الحال في النباتات الأرضية فإنه يقاوم الضغط الحادث من ضغط العشاء البروتوبلازمى وكذلك يقاوم زيادة حجم السائل ويترتب على ذلك عدم دخول الماء إلى الخلية أكثر من ذلك وتكون قد امتصت من الماء أقصى ما يمكنها أن تمتصه .

وتعرف الخلية في هذه الحالة بأنها مشدودة Turgid ويسمى ضغط الجدار عند الوصول إلى هذه الحالة بضغط الجدار Wall pressure

وبما نجيب ملاحظته أنه عند الوصول إلى حالة الانتفاخ هذه يكون هناك صحتان متضادتان ومتعادلتان . فهناك الضغط الأزموزى للعصير الخلوى الذى يعمل على



اجتذاب الماء من الخارج، وهناك ضغط الجدار الذي يحد من تمدد الجدار البروتوبلازمي الذي يعمل على عدم ادخال الماء إلى داخل الخلية .

وبلاحظ أن الماء لم يدخل الخلية بقوة الضغط الأزموزي الابتدائي لصير العجوة ولم يدخل بقوة الضغط الأزموزي النهائي لها ، بل الراجع أنه دهن الخلية بقوة تساوي الفرق بين الصفتين ، وتعرف هذه القوة بقوة الامتصاص Suction force . وفيما يلي مثالا عددياً يبين قيمة هذه الضغوط :

إذا كان الضغط الأزموزي للصير الخلوي للخلية في أول الأسرورة قبل وضعها في الماء النقي مساوياً ١٠ صغوط جوية فبعد وضع هذه الخلية في الماء فإنه يأخذ في الانتشار خلال أغشية الخلية إلى الداخل فيترتب على ذلك زيادة حجم العجوة العضارية وينقص تركيبها وبالتالي ينقص ضغطها الأزموزي ، تستمر هذه الزيادة في حجم العجوة مع نقص في ضغطها الأزموزي حتى تصل الخلية إلى حالة الاتساع أو الانفراج . ولنفرض أن ضغطها الأزموزي قد أصبح ٨ صغوط جوية بعد أن كان ١٠ ، فعند ذلك يكون ضغط الجدار الخلوي يساوي ٨ صغوط جوية وهي نفس قيمة الضغط الأزموزي الجديد للصير الخلوي .

من ذلك يصبح أنه عندما وصلت الخلية إلى هذه الحالة من الاتزان لم يصبح تركيب صيرها الخلوي مساوياً لتركيز الوسط الخارجي لأنه لم يزال للخلية ضغط أزموزي ولم يزال الوسط الخارجي ماء وإنما يرجع سبب وقف دخول الماء إلى الخلية بالرغم من عدم تساوي التركيزات في الداخل والخارج إلى سببين أولهما خاصية الغشاء البروتوبلازمي شبه المنعقد فلا يسمح لذائبات العجوة بالانفاذ ، وثانيهما تعادل الضغط الأزموزي للصير الخلوي عند الاتزان مع ضغط الجدار للخلية أي إلى تعادل الضغوط المتعارضة في الخلية . وتكون قوة الامتصاص - وهي القوة التي دخل بها الماء إلى للخلية - مساوية للفرق بين الضغط الأزموزي الابتدائي للعجوة والضغط الأزموزي النهائي أي أن :

قوة الامتصاص = ١٠ - ٨

= ٢ ضغط جوى

فإذا رمزنا لقوة الامتصاص بالرمز  $\sigma$  والضغط الأزموزى المعبر الحوى بالرمز  $\pi$  والضغط الجدارى بالرمز  $\pi'$  فإن :

$$\sigma = \pi - \pi'$$

وفي حالة انتفاخ الخلية تصبح  $\sigma = 0$  أى أن  $\pi = \pi'$  وهذا هو سلوك الخلية إذا كان الوسط الخارجى ماء نقياً . أما إذا كان الوسط الخارجى محلولاً له ضغط أزموزى معين و ليكن ضغطاً جويّاً واحداً ورمزنا له بالرمز  $\pi''$  فإن هذا الضغط الأزموزى الجديد للحلول الخارجى يمتل مع الضغط الجدارى فى مقاومة دخول الماء إلى الخلية وعلى ذلك يكون .

$$\sigma = \pi - (\pi' + \pi'')$$

$$= \pi - \pi' - \pi''$$

وبالتعويض فى المعادلة الأخيرة بالقيم العددية لهذه الضغوط يكون :

$$\text{قوة الامتصاص} = ١٠ - ٨ - ١$$

$$= ١ \text{ ضغطاً جويّاً واحداً .}$$

أى أن الخلية لا زالت قادرة على سحب الماء من الوسط الخارجى لأن قوة امتصاصها ما زالت موجبة .

عند بلوغ الخلية حالة الاتزان أى عند تمام امتلائها أو انتفاخها أى عند وقف دخول الماء فإن قوة الامتصاص تساوى صمراً من الضغوط الجوية أى أن :

$$\sigma = \pi - \pi' - \pi'' = 0$$

$$\text{أو } \pi = \pi' + \pi''$$

أى أنه عند الوصول إلى حالة الاتزان يكون الضغط الأزموزى الخلية مساوياً لـ الضغط الجدارى لها زائداً الضغط الأزموزى للحلول الخارجى .

و لبيان ذلك نفرض أن الضغط الأزموزى للحلية قص وضعها في المحلول كان ١٥  
ضغطاً جويّاً وأن ضغطها الجدارى كان ضغطين جويّين وأنها وضعت في محلول ضغطه  
الأزموزى يساوى ٩ ضغطوط جوية .

∴ قوة الامتصاص = الضغط الأزموزى الابتدائى - الضغط الجدارى -  
الضغط الأزموزى للمحلول الخارجى

$$\text{أى أن} \quad \bullet \quad \text{ص} = \text{ص} - \text{ح} - \text{ص}^{\circ}$$

$$9 - 2 - 15 =$$

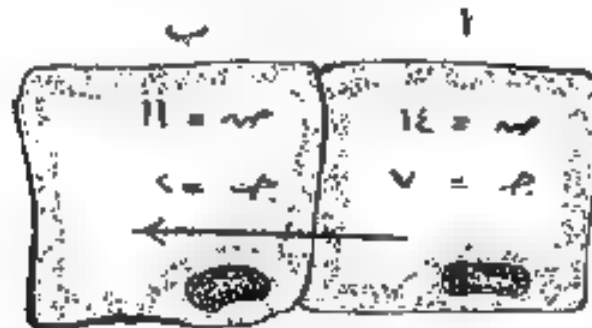
$$= \text{ع} \text{ ضغطوط جوية}$$

$$\text{وعند الاتزان يكون} \quad \text{ص} = \text{ح} + \text{ص}^{\circ}$$

$$\text{أى} \quad 9 + \text{ح} = 15$$

$$\therefore \text{ح} = 15 - 9 = 6 \text{ ضغطوط جوية}$$

ولكى نوضح أن امتصاص الحلية للماء إنما يوقف على قوة امتصاصها وليس  
على قيمة ضغطها الأزموزى، تصور خليتين ١ و ٢ وضعتا بحيث تتلاصق جدارهما  
فيسمل تبادل الماء بينهما وكانت قيمة الضغط الأزموزى للحلية ١ = ١٤ ضغطاً جويّاً  
في حين كان ضغطها الجدارى = ٧ ضغطوط جوية أما الحلية ٢ فكان ضغطها  
الأزموزى والجدارى ١١ و ٢ ضغطاً جويّاً على الترتيب ( شكل ١٠ ) .



( شكل ١٠ )

ومع خليتين متجاورتين ويمثل السهم اتجاه الماء من الحلية ( ١ ) إلى الحلية ( ٢ )

فلذلك يعرف أى الحيتين تمتص ماءً من الأخرى بقدر قوة الامتصاص لكل منهما :

$$\text{ص (الخلية ١)} = ١٤ - ٧ = ٧ \text{ ضغطاً جويّاً}$$

$$\text{ص (الخلية ب)} = ١١ - ٢ = ٩ \text{ ضغطاً جويّاً}$$

فبالرغم من أن الخلية ( ١ ) كان ضغطها الأزموزى أعلى من الضغط الأزموزى للخلية ( ب ) إلا أن قوة الامتصاص للخلية ( ب ) أكبر منها للخلية ( ١ ) ومعنى هذا أن يتنقل من الخلية ( ١ ) إلى الخلية ( ب ) وليس كما يبدو من أول وهلة من أن الماء يتنقل من الخلية ( ب ) إلى الخلية ( ١ ) اعتماداً على أن الضغط الأزموزى للخلية ( ١ ) أعلى منه للخلية ( ب ) .

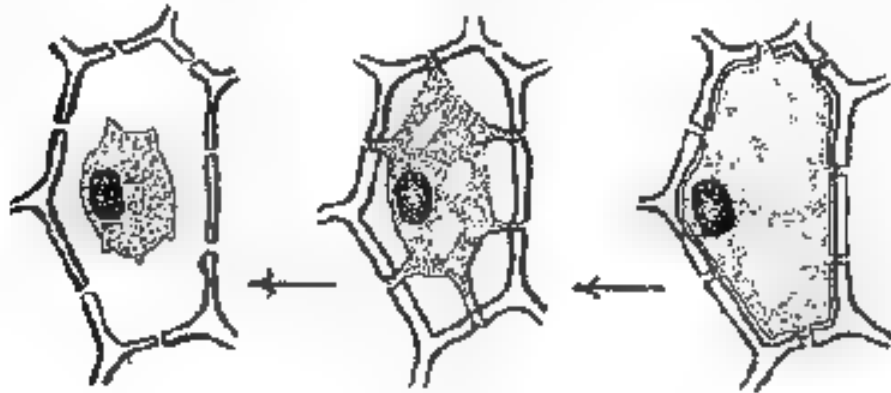
أما إذا غمست الخلية في محلول تركيزه أو ضغطه الأزموزى أكبر من الضغط الأزموزى للمصير المحوى للخلية ، فإن الخلية لا تتوقف فقط عن امتصاص الماء بل إنها تفقد من ماء حصادتها الخلوية ماء البروتوبلازم فإذا فرضنا وكان الضغط الأزموزى للخلية ٨ ضغطاً جويّاً وأنها وضعت في محلول ضغطه الأزموزى ١٤ ضغطاً جويّاً فإن الماء يخرج من الخلية فينكش البروتوبلازم ويض ضغط الجدار الخلوى عليه حتى يتعلم كلية وتصحح في المادة السابغة = صفر .

$$\text{ص} = ٨ - \text{صفر} = ١٤$$

$$= ٦ \text{ ضغطاً جويّاً} .$$

أى أن للخلية قوة امتصاص سالبة ومعنى ذلك أ ، الماء يخرج من الخلية إلى الوسط الخارجى ويترتب على ذلك أن ينقص حجم المصير الخلوى ويزداد تركيزه أى يزداد ضغطه الأزموزى وينكش البروتوبلازم وتكون الخلية في هذه الحالة مرتخية Flaccid فإذا ما اسمر الماء في الخروج من الخلية بعد الوصول إلى حالة الارتخاء فإن الجدار البروتوبلازمى يساير هذا النقص في الماء لمرونته فيأخذ في الانفصال التدريجى عن جدار الخلية - الذى لا يكاد يتأثر من هذه الحالة - ويكون انفصال الغشاء

البروتوبلازمى عن الجدار العلوى إما جزئياً أو كلياً حسب درجة تركيز المحلول الخارجى. وعند الوصول إلى هذه الحالة تعتبر الخلية فى حالة *Plasmolysis* وإذا كانت حالة الخلية قد وصلت إلى درجة شديدة من البلمرة أدت إلى انفصال البروتوبلازم انفصالاً كلياً عن الجدار العلوى وتكونه حول العجوة أدى ذلك إلى تقطيع حيوط البلازموديزما التى تصل ما بين بروتوبلازم الخلايا وبعضها (شكل ١١).



( شكل ١١ )

طريقة حدوث البلمرة — الخلية الأولى فى حالة طبيعية — الخلية الثانية أصبحت فيها اللزجة . لاحظ انكماش البروتوبلازم وانفصاله عن الجدار العلوى — الخلية الثالثة حدث لها بلمرة شديدة فتقطعت حيوط البلازموديزما

أما إذا أعيدت الخلية المبلزمة إلى الماء النقي فإن الخلية تأخذ فى استرداد حالتها الأولى وتستعيد امتلاءها تدريجياً نتيجة لدخول الماء فيزداد حجم العصير الخلوى ويأخذ الغشاء البروتوبلازمى وضعه الطبيعى . وكثيراً ما يحدث عن أول خطوات انقماش الخلية المبلزمة لماء شعاع البلمرة *Deplasmolysis*

وإذا وصفت خلايا النبات فى محلول تركيزه أعلا قليلاً من تركيز العجوة العسارية فإنها تقلزم وتبقى مبلزمة مدة من الزمن تطول أو تقصر حسب الفرق من الضغط الأزموزى بين العجوة والمحلول الخارجى . على أنه خلال هذه الفترة تمكن بعض الدائيات من التمازج من المحلول الخارجى إلى داخل الخلية ( نظراً لأن الغشاء

البلازي يسمح بدخول هذه النباتات ببطء) فينتج عن ذلك اودياد الضغط الأزموري داخل الخلية ونقصه في المحلول الخارجي ؛ وبناء على ذلك تبدأ الخلية في استعادة بعض ما فقدته من الماء وتشفى من الجراحة .

فإذا كان الضغط الأزموري للمحلول المحيط بالخلية أصلاً كثيراً من الضغط الأزموري لفجوة العصارية في خلايا النبات فإن البلزعة تحدث ، ونحاول الحية زيادة ضغطها الأزموري الدسلي بكل الطرق ولكنها تموت قبل أن تتمكن من موازنة الصعطين للتمكن من استعادة ماؤها . وبعزى موت الخلية لفقد البروتوبلازم لماقه وفشائه على هذه الحالة مدة طويلة .

### طرق تقدير قوة الامتصاص :

يستعمل لذلك طرق كثيرة أبسطها هو عمر قطع أو شرائح من النبات المطلوب معرفة قوة امتصاصه في محلول من سكر القصب معروف ضغطه الأزموزي وبديل التغير في حجم أو وزن النبات بالزيادة أو بالنقص على قوة الامتصاص لخلاياه تتكون قوة الامتصاص مساوية لقيمة الضغط الأزموري للمحلول المسمى الذي لا يغير من حجم أو وزن النبات عند وضعه فيه مدة كافية . وواضح أن ص ( قوة الامتصاص ) في مثل هذا المحلول تكون مساوية للصفر . واتفق من أبحاث Stiles and Jorgensen أن محلول ١٦ جزئياً من سكر القصب لم يغير من وزن أقراص دربات البطاطس عند وضعها فيه مدة كافية وعلى ذلك تكون قوة الامتصاص لخلايا البطاطس مساوية ٦,٥ ضغطاً جويّاً . وعندما استعملت أقراص جنور الجوز موجد أن قوة امتصاصها تعادل ١٧ ضغطاً جويّاً

وهناك طريقة أخرى تسمى طريقة الانحناء Tissue tension وتلخص في احضار سلاميات أو أعناق أوراق النبات المراد تقدير قوة الامتصاص لخلاياه ويستحسن أن تكون السلاميات المأخوذة من أطراف النبات حتى لا يكون قد تكون بها أنسجة دعامية تجعل انحناءها صعباً ، وكذلك الحال في الأعناق التي يجب

أن تؤخذ من أوراق حديقة التكرين . وقبل قطع هذه الأجزاء النباتية طويلاً ( سواء كانت سلاميات أو أعناق أو أوراق ) نلاحظ أن خلايا البشرة فيها مشددة . نتيجة لضغط خلايا القشره والنخاع عليها من الداخل أما عند قطعها صوياً لإتمامها في محاليل مختلفة الأزموزية فإثنا نلاحظ استكاش خلايا البشرة وانسساط خلايا النخاع لتتوسق القطعة إلى الخارج أى إلى جهة البشرة التى تكون في الجهة المقعرة والنخاع في الجهة المحدبة ( شكل ١٢ ) . وإذا وضعت بعض هذه القطع في ماء نقي فإن



( شكل ١٢ )

( أ ) سلامة النبات قبل قطعها

( ب ) قطعة من السليمة - لاحظ

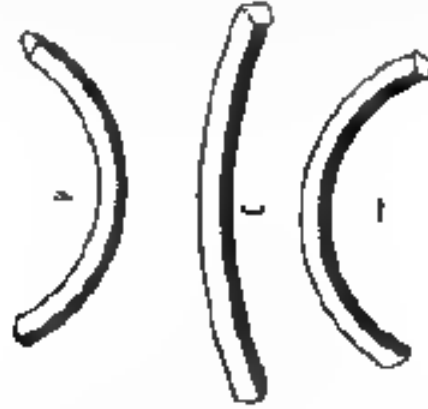
الانحناء الحادث جهة البشرة المظللة

الخلايا المعرضة من النخاع سرعان ما تمتص الماء بقوة الامتصاص يزداد حجمها ويزداد تبعاً لذلك تقوس القطع في نفس الاتجاه . أما عند وضع القطع في محلول زائد الأزموزية فإن خلايا النخاع تفقد الكثير من مائها نتيجة لخروجه إلى المحلول الخارجى فينقص حجمها ويقل انحناء القطع بل وربما انعكس الانحناء ، مع ملاحظة أنه في كلا الحالتين يظل حجم خلايا البشرة ثابتاً لأنها لا تمتص ولا تفقد الماء طرأً لأن خلاياها معطاء بطبقة عازلة تمنع تسرب أو دخول الماء إليها .

وتكون قيمة قوة الامتصاص مساوية لقيمة الضغط الأزموزى للحلول الذى لا يغير فيه شكل الشرائح النباتية إذا وضعت فيه مدة كافية ( شكل ١٣ ) .

ومن بين الطرق المستعملة طريقة مبنية على قياس طول شريحة النسيج النباتى المستعمل وذلك بأن يوضع النسيج الساقى في زيت البارافين لحفظه عن تغير لونه ساعات . ثم تحصر حلة محاليل مختلفة التركيز من سكر الانصب وتوضع في أطباق مياومة ويتطاح النسيج النباتى إلى شرائح مناسبة ونفاس أطوالها تحت سطح البارافين ثم يزال البارافين بسرعة من على الشرائح بقطعه من ورق الترشيح وتلقى الشرائح في

المحالب السكرية المحضرة وتترك فيها لمدة ساعة ونصف تقريباً يقاس بعدها طول النشراح وهي في المحلول السكري . وعلى ذلك تكون قوة الامتصاص للخلايا النسيج مساوية لقيمة الضغط الأزموزي للمحلول الذي لا يميز من طول النشراح المسعطة .



( شكل ١٢ )

القطعة الأولى وضعت في محلول نائس التركيز زاد الانحناء جهة البصرة  
القطعة الثانية بـ وضعت في محلول سوي التركيز — لم يغير شكلها  
القطعة الثالثة جـ وضعت في محلول زائد التركيز — انحنت جهة النشراح

### العوامل التي تؤثر في قيمة الضغط الأزموزي للحمية النباتية :

١ — البيئة التي تنمو فيها النبات . من المعروف أن الضغط الأزموزي للخلية يتغير بتغير الوسط الخارجي الذي يعيش فيه النبات وقد أثبت Roberts ( ١٩١٦ ) جذور نباتات الفجل في محاليل سكرية مختلفة التركيز ومتزايدة من تركيز ٠.٢ إلى ٠.٦ جزئي ولاحظ أن الضغط الأزموزي للعصير الخلوي للشعيرة الجلدية يتزايد بتزايد تركيز المحلول السكري الخارجي . ولاحظ Harris & Pascoe ( ١٩٣٠ ) أن الضغط الأزموزي للعصير الخلوي لخلايا العناب يزداد بزيادة تركيز محلول التربة . وليس من المعروف بالضغط سبب هذه الزيادة ، وهل ترجع إلى قسوت بعض الخلايا من الوسط الخارجي إلى الخلية فتزيد من قيمة ضغط عصيرها الأزموزي أو



إلى تحلل بعض مواد غير أرمورية إلى مواد ذات ضغط أزمورى فى داخل الخلايا، الأمر الذى يزيد من ضغطها الأزمورى بصفة عامة .

٢ - نوع النبات : فى العادة يكون الضغط الأزمورى للعصير الخلوى لخلايا الأشجار والشجيرات أقل منه فى الأعشاب والحوليات . والجدول الآتى من نتائج Harris & Laurence ( ١٩١٦ ) ويمثل الضغط الأزمورى للعصير الخلوى للنباتات المختلفة .

نوع النبات	الضغط الأزمورى للعصير الخلوى مقدراً بالضغط الجوية
أشجار وشجيرات	٢٨,١٠
نصف شجيرات ونباتات قزمية	٢١,٤٥
أعشاب	١٦,٣٥
حوليات	١٤,٧٣

ومن نتائج أخرى لاحظ Harris ومساعدوه ( ١٩١٧ - ١٩٢١ ) أن الضغط الأزمورى لأوراق النباتات الخشبية أقل منه فى أوراق النباتات العشبية .

وقد درست العلاقة بين العائل والطفيل من جهة والضغط الأزمورى لخلايا كل منهما، ووجد أن الضغط الأزمورى لخلايا الطفيل دائماً أعلى من قيمتها من الضغط الأزمورى لخلايا العائل .

٣ - وضع الخلية بالنسبة إلى النبات : لاحظ Dixon ( ١٩١٤ ) أن الضغط الأزمورى للعصير الخلوى لخلايا أوراق نبات *Wistaria* التى على ارتفاع ثلاثة أقدام من سطح الأرض كان ٥,٢٥ ضغطاً جويّاً بينما بلغ ٦,٦١ ضغطاً جويّاً للأوراق التى على ارتفاع ٣٧ قدماً . على العموم يمكن القول بأنه كلما كان وضع الورقة على النبات فى مستوى أعلى زاد الضغط الأزمورى لعصيرها الخلوى عن الأوراق

التي في مستوى أوطأ . والجداول المبين عدد يبين بمصر النتائج التي حصل عليها  
Harris, Gortner and Laurence

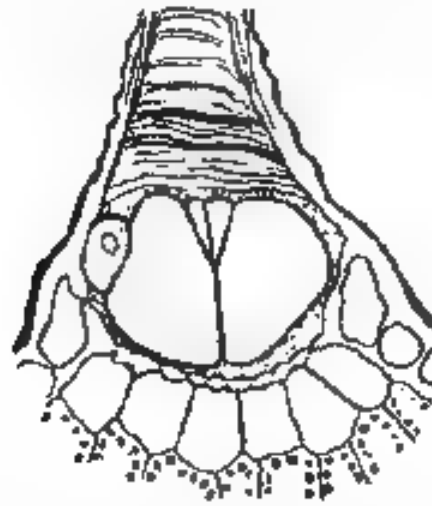
الارتفاع بالملم	الضغط الأرموزي بالضغط الجوي	اسم النبات
١١	١٢,٦٣	<i>Betula lutea</i>
٢٥	١٤,١١	
٣٩	١٥,١٢	
٥٢	١٦,١٠	
٦٩	١٧,٣٢	<i>Fagus grandifolia</i>
٦٤	٢١,٩٢	

٤ — عمر الخلية النباتية : يمكن القول بأن الأوراق المسنة ذات ضغط أرموزية  
أعلا من الأوراق الحديثة التكوين كما أوضح ذلك Dixon ( ١٩١٢ ) وغيره .

٥ — وقت أخذ العينة : في المادة يكون الضغط الأرموزي لمعير الخلايا  
مختصاً جداً في الصباح الباكر ويستمر في الزيادة حتى يصل إلى أقصاه بعد الظهر ثم  
يأخذ في الانخفاض التدريجي حتى الصباح التالي ، ويعزى هذا التغير في قيمة الضغط  
الأرموزي لخلايا النبات إلى التغير في محتواها السكري أثناء ساعات النهار المختلفة .  
فتلاحظ أن أقل نسبة من السكر توجد في الأوراق في الصباح الباكر وقبل شروق  
الشمس ويقابل ذلك أقل ضغط أرموزي للخلايا ، ويرداد محتوى الأوراق السكري  
بتقدم ساعات النهار بزيادة معدن عمية التمثيل الكربوني ، حتى يصل إلى أقصاه حوالي  
الساعة الثانية ظهراً فيصل الضغط الأرموزي للخلايا أقصاه ثم يأخذ محتوى الأوراق  
السكري في التناقص لتتقص عمية التمثيل ويصحب ذلك نقص في قيمة الضغط  
الأرموزي للخلايا حتى الصباح التالي .

## امتصاص النبات للماء

يتمسك النبات الماء بصفة عامة عن طريق مجموعته الجذري من التربة . غير أن هناك بعض نباتات قليلة مثل اليق *Dipsosaxia* والحيق *Convolvulus* وغيرها يمكنها أن تمتص الماء بواسطة أعصابها الهوائية ( شكل ١٤ ) غير أن هذا المصدر لا يعوز عليه النبات كثيراً في أخذ ما يكفيه من الماء ، لذلك يأخذ أغلب احتياجاته منه عن طريق مجموعة الجذري من التربة مثل غيره من النباتات .



( شكل ١٤ )

شعيرة لامتصاص الماء في نبات اليق

( لاحظ رقة الخلايا المجاورة لقاعدة الشعيرة وهي التي تقوم بامتصاص الماء )

وتتمسك النباتات المائية الماء من جميع أجزائها جسمها المنغمورة فيه كالأوراق والسوق وليس لجذورها أى فائدة تذكر في الامتصاص ، وتكون وظيفتها هي التثبيت وتصح كتركز نمل النباتات يحملها في وضع رأسي لتقاوم التيارات المائية التي تحاول جرفها .

بعض النباتات المتسلقة كنبات الأبق *Hedra helix* والاميلوبسيس تتكون لها جذور عرضية على سوقها المتسلقة وتعمل هذه الجذور في شقوق السمات

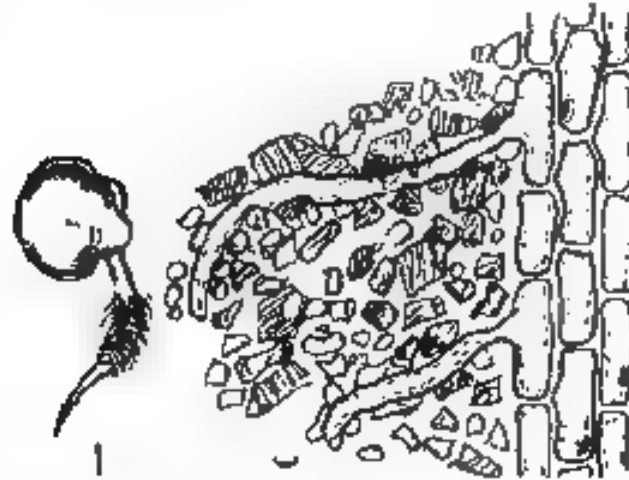
والجدران وتتمسك ما فوق يتراكم من ماء الأمطار فيها علاوة على ثقيث هذه النباتات  
بالتعامات أو الجدران ( شكل ١٥ )

وتكون أحراف الجدران مناطق الامتصاص الكبرى في النبات نظراً لأن جدران  
خلايا نثرتها حالية من المواد الشمعية والقيينية والسكوبينية التي تعوق امتصاص الماء .



( شكل ١٥ )

١ - نبات الأبي      ب - نبات الامبوليس  
( لاحظ الجذور العرسية على الساق المسطحة والتي تمتص ماء الأمطار )



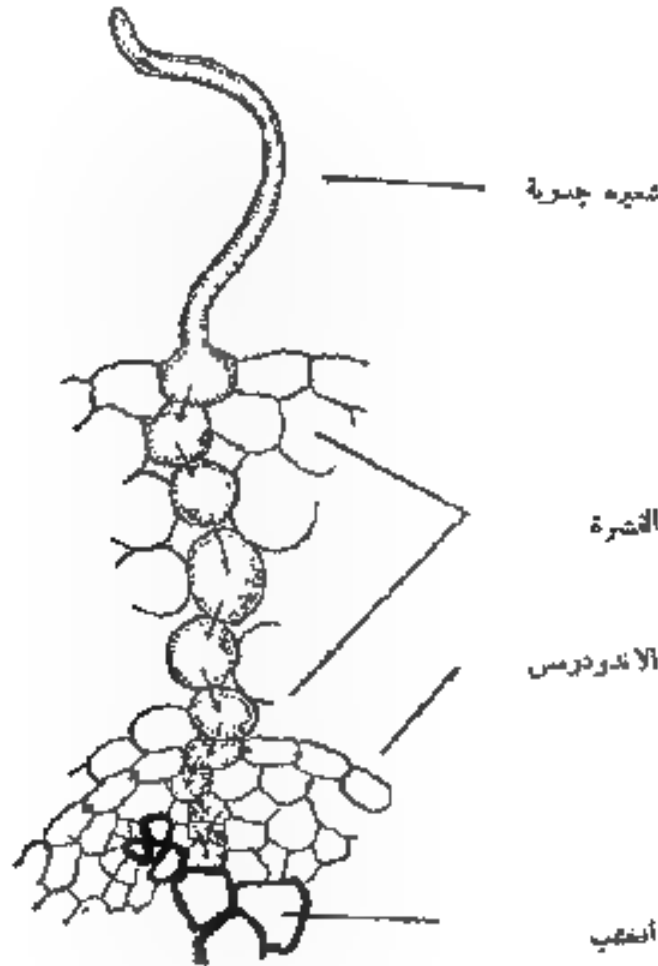
( شكل ١٦ )

١ - جذرة وفيها منطقة الشعيرات الجذرية  
ب - تفلل الشعيرات الجذرية بين حبيبات التربة

و نظراً لرقّة جندرها فإنها تصبح بذلك طريق دخول الماء إلى النبات . و زيادة في  
تعدد بعض أكبر سطح يمكن من البشرة للامتصاص فإن بعض جند هذه الخلايا تستطيل  
لتكون الشعيرات الجذرية Root hairs و بهذا تتفعل في التربة و يريد السطح المحرص  
من الجذر للامتصاص ( شكل ١٦ ) .

امتصاص الماء بواسطة الجذور :

إذا عملنا قطاعاً عرضياً في جذر حديث في منطقة الامتصاص ( شكل ١٧ ) ولحسنا



( شكل ١٧ )

قطاع عرضي في جذر في منطقة الامتصاص = تحت الأسمم  
الى طريق الماء من التربة إلى أوعية الخشب ( من رستلي )

هذا النطاق لثرى الأنسجة المختلفة التي يجب أن يخرقها الماء الذي يتحرك من التربة إلى أوعية الخشب لوجدنا أن أولى طبقاته من الخارج هي طبقة البشرة Epidermis وتتكون أسطوانة تنفذ جذر سمكها حلقة و حدة ويخرج من معظم خلاياها شعيرات جذرية . وجذر الخلايا والشعيرات خالية من أى تعليط أو مادة تمنع نفاذ الماء ، لذلك ينشرب الماء خلال جذرها بسهولة تامة . وتتميز خلايا هذه الطبقة باحتوائها على لجوات كبيرة وجذرها منقطعة بصفة محاطية تزيد من درجة التصاقها بجزيئات التربة .

تلى البشرة من الداخل طبقة القشرة Cortex وهي مكونة من عدة صفوف من الخلايا ذات الجدر السيلولوزي الحافية كذلك من أى مادة تمنع نفاذ الماء . وآخر طبقات القشرة هي طبقة الأندودرم Endodermis وهي طبقة سمكها خلية واحدة وجذر خلاياها متلاصقة تماما وتتكون أسطوانة تفصل صيتى الجدر ( البشرة والاسطوانة الوعائية ) . وخلايا هذه الطبقة مغلقة من جذرها العليا والسفلى والجانبية ولكنها مائية من التعليط في الجدر لمواجهة لامشرة وللأسطوانة الوعائية ، وبذلك يأخذ التعليط شكل شريط أو حزام يسمى بشريط كاسبار Casparian strip ( شكل ١٨ ) ويبدو أن هذا الشريط يتكون قبل تكون الجدار السيلولوزي نفسه بالخلية الأندودرمية ويظهر أنه مصنوع من مادة قاعدية لأن جدر ان الخلية العديدة تلويح في حامض الكبريتيك ولكن هذا الشريط لا يلويح فيه ومادته غير متصفة بالماء . ولا يوجد في الجدر الحديث طريق لنفاذ الماء إلى أوعية الخشب سوى الجدر الداخلية والعارجية للأندودرم إلا أنه عندما يكبر النبات تغلف هذه الجدر أيضاً . وبها ينقل المارقي في وجه الماء الداخل إلى الاسطوانة الوعائية لولا بقا . بعض هذه الخلايا بدون تعليط وتسمى بخلايا البرود Passage cells .

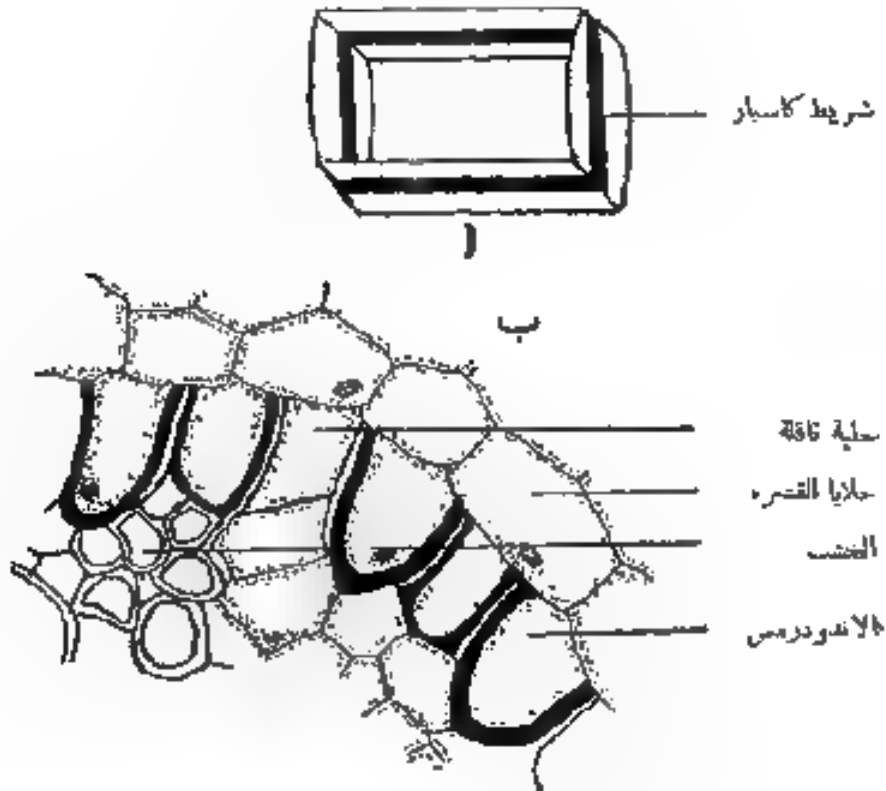
تلى طبقة الأندودرم الاسطوانة الوعائية وأولى طبقاتها هو سيج البريسكل Pericycle ويكون أسطوانة تنفذ الاسطوانة الوعائية وسمكها خلية واحدة في الغالب وخلاياها إما بنشيجية أو اسكلرشيمية وبعد الماء بسهولة خلال جذره إلى أوعية الخشب .

و يوجد الخشب في المركز في مجاميع مثثة ومتبادلة مع مجاميع اللحاء و تتحتم مع بعضها بحلايا يرشيمية حية هي يرشيم الخشب . و يتركب وعاء الخشب من صف طولي من الحلايا غير الحية ذلت جدر مميّنة و ليس بين حلاياه جدران و بهذا يزول كل حائق يعترض طريق مرور الماء والأملاح في الوعاء الخشبي . ومادة اللجنين لا تمنع نفاذ الماء إلى الداخل .

وهناك قرنان تعملان على جذب الماء من التربة إلى النبات هما :

١ — قوة تشرب الجدران السيلولوزية للحلايا بأما .

٢ — قوة الامتصاص .



( شكل ١٨ )

١ حلقة اندودرمس مشربة بمرها شريط كاسبار

ب — جزء من قطاع عرضي في جدر من . لاحظ تفتظ الجدر الداخلية والشفافية بمواد غير منفعة ما عدا الحلايا الناعقة

### أولاً : قوة تشرب الجدران السليولوزية للخلايا بالماء :

لما كانت خلايا منطقة الامتصاص في الجذر بما في ذلك الشعيرات الجذرية ملاصقة بماء التربة لذا كانت لديها أكبر فرصة لأن تشرب جدرانها بالماء إلى أكبر درجة ممكنة . ولما كانت جدران هذه المنطقة ( البشرة ) ملاصقة لجدار أول طبقة من خلايا القشرة ، ولأن جدار القشرة أقل تشرباً بالماء نظراً لبعدها عن مصدره ، فإن الماء ينتقل من جدار خلايا القشرة إلى جدار أول صف من خلايا القشرة وبهذا تصح جدران خلايا أولى طبقات القشرة أكثر تشرباً من جدران ثاني طبقات القشرة فينتقل إليها الماء وهكذا تولد قوة تجذب الماء على جدران الخلايا ، وفي نفس الوقت يكون تركيز ماء التشرب على جدار خلايا البشرة قد انخفض فتتشرب كمية أخرى من ماء التربة ويحدث موجة شد أخرى ، وهكذا تسرى موجات متتابعة يكون نتيجةها مرور تيار من الماء على جدار الخلايا . وعندما يصل تيار ماء التشرب إلى طبقة الأندودرمس فإنه لا يمكنه أن يتعداها لتغلظها بشرائط كاسبار التي يعوق بقاء الماء وبذا لا يتقدم ماء التشرب أكثر من هذه الخطوة أي أن تأثيره لا يمتد بمنطقة القشرة . ويلاحظ أن كمية الماء التي تدخل النبات عن هذا الطريق كمية متبيلة بالسبب لما يدخل بهوة الامتصاص

### ثانياً : قوة الامتصاص .

سبق أن بينا أن امتثال الماء من حلية إلى أخرى مجاورة لها إنما يوقف على قوة الامتصاص وليس على الضغط الأزموزي للخلايا ، وأن الماء ينتقل إلى الحلية ذات قوة الامتصاص الأكبر . ولما كان الضغط الأزموزي لخلايا البشرة أكبر منه لمحول التربة ( حوالى ضغط جوى واحد ) فإن الماء ينتقل من محلول التربة إلى فجوة خلية البشرة ( ١ ) فتتفخ الخلية وتنحصر قوة امتصاصها عن الحلية ( ب ) وهي أول طبقة من خلايا القشرة فينتقل إليها الماء وتتفخ وتقل قوة امتصاصها عن الخلية ( ح ) وهي ثاني طبقات القشرة وينتقل إليها الماء . وهكذا ينتقل الماء من خلية إلى خلية حتى يصل إلى وطء الخشب ( و ) ( شكل ١٩ ) .





( شكل ١٩ )

رسم تخطيطي يبين اتصال حلبة الشجرة الجذرية ( ١ ) عظاما للشجرة ( ب ، ج ، د ، هـ )  
ووعاء الخشب ( و ) ( عن د . م . م . بلاكمان )

والواقع أن الماء يصل بقوة الانسحاب من ماء التربة حتى آخر صبغة حية وهي  
البرشيمية الخشنة ، وعندما يصل الماء إلى ريشة الخشب ، تدفع بقوة غير معروفة  
كبتها إلى رءاء الخشب ، وهذه القوة هي ما يطلق عليها الضغط الجذري ،  
Root pressure وهي التي تدفع الماء في قصبات الخشب وقسيباته إلى أعلا .

ويمكن إثبات وجود هذا التيار المائي الناتج من الضغط الجذري عملياً إذا قطعنا  
ساق نبات نام فإننا نلاحظ بعد وقت قليل خروج قطرات  
من ( الماء ) من السطح المقطوع مدفوعاً بقوة الضغط الجذري .  
وتعرف هذه الظاهرة بظاهرة الإدماء Bleeding وترى  
بوضوح عند تقليم الخشب .



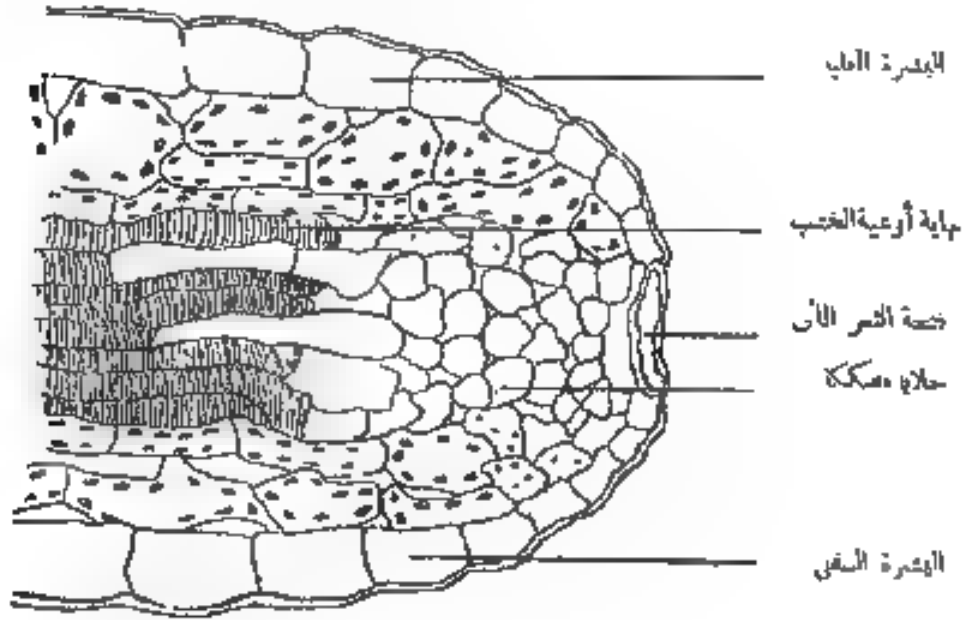
( شكل ٢٠ )

نخبة لإظهار قوة الضغط  
الجذري

إذا ما ثبتت أنبوبة مانومترية بها زئبق تثبتاً محكاً بواسطة  
أنبوبة من المطاط على سطح النبات المقطوع ورويت التربة  
فإننا نلاحظ بعد مدة ارتفاع الزئبق في ساق المانومتر الممعدة  
دليلاً على خروج الماء بقوة الضغط الجذري ، ويمكن استخدام  
هذه الطريقة في قياس قيمة الضغط الجذري للنباتات ( شكل ٢٠ ) .

وهناك ظاهرة أخرى تعرف بظاهرة الإدماء Guttation  
وترى في الصباح الباكر على شكل نقط من الماء على أطراف  
أوراق بعض النباتات خصوصاً نباتات العائلة النجيلية ونبات

أبو خنجر . وسبب هذه الظاهرة أنه أثناء الليل تكون الثغور مقفولة ويدخل الماء من الجذر إلى أوعية الخشب في الجذر والساق والأوراق بقوة الضغط الجذري ، ولا يجد الماء الزائد عن حاجته أمامه من سبيل الخروج إلا عن طريق فتحات صغيرة موجودة في نهاية الأوعية الخشبية الدقيقة بأطراف الأوراق وهذه الفتحات تعرف بالثغور المائية Hydathodes ( شكل ٢١ ) وتبقى مفتوحة دائماً فيخرج الماء عن



( شكل ٢١ )

قطاع طولى في طرف ورقة البريولا ( عن هيرلاند )

شكل ٢٢ متابقة وأحسن ما تشاهد هذه الظاهرة في الصباح الباكر ليلية دافئة ويساعد الدفء على امتصاص الجذر للماء .

وتختلف كمية الضغط الجذري باختلافصول السنة والمعتدل أن قيمته تبلغ أقصاها في بداية الربيع ، قبل تمام تكوير الأوراق حيث تقل كمية النتج . وتقل قيمته كلما كبرت الأوراق و زاد معدل تنحها لذلك يعتبر الضغط الجذري من أهم العوامل في رفع العصارة .

## العوامل التي تؤثر على امتصاص الجذور للماء :

### ١ - درجة حرارة التربة :

يرداد معدل امتصاص النبات للماء بزيادة درجة الحرارة ويقل هذا المعدل بانخفاضها . ويرجع السبب في ذلك إلى أن درجة الحرارة المنخفضة تسبب تجمع جزيئات أى مادة ومنها الماء وبهذا يقل معدل انتقاله من التربة إلى النبات . كما أن للعامل الحرارى لعملية امتصاص الماء أثراً كبيراً فإن رفع درجة الحرارة ١٠ درجات مئوية يزيد في معدل الامتصاص من ١,٢ إلى ١,٣ مرة في حين أن معدل الامتصاص للنبات من الماء يزيد عن ذلك كثيراً .

ويمكن بواسطة التجربة (نبات أن سفن درجة الحرارة يقلل من معدل ما يصل إلى الجذر من الماء فيديل النبات . وذلك بأن نأني ما صيص به نبات نام ونضع هذا الأصيص في غلوط مبرد من الثلج المجروش بحيث يترك المجموع الخصري للنبات في الجو المادى للرفة بأنا نلاحظ بعد مدة ذبول النبات رغم أن مجموع الخصري موجود في درجة الحرارة العادية . ويعزى ذبول النبات إلى أن انخفاض درجة حرارة التربة سببت قلة انتقال الماء إلى الجذر بدرجة لا تكافأ مع ما يعمده النبات بالتع . فإذا ما أخرجنا الأصيص من الغلوط المبرد إلى الدرجة العادية فأنه لا تلبث أن تزول حالة الذبول تدريجياً . ولعل هذا يصير لنا تساقط أوراق بعض النباتات في الشتاء لعدم تكافؤ ما يمتصه النبات مع ما يفقده . لذا يلجأ النبات إلى التخلص من أوراقه حتى يوازن بين الفقد والامتصاص . أما النباتات دائمة الاحضرار فإن لها من الصفات الزرويقية ما يمكنها من بقاء أوراقها .

### ٢ . كمية الماء في التربة .

يوجد الماء في التربة على صورتين . الأولى وهى الماء الميسور Available water وهو الماء الذى يمكن أن يمتصه النبات بواسطة مجموعته الجذرى ، والثانية هى الماء غير الميسور Non - available water وهى كمية الماء التى تختلف فى التربة ولا يمكن أن يمتصها

النبات . وتختلف نسبة الماء الميسور إلى الماء غير الميسور باختلاف أنواع التربة . فمن المعروف أن التربة الرملية هي أسخى أنواع التربة بمائها للنبات بالرغم من أن طاقته احتفاظها للماء Water holding capacity قليلة إذ قد نمت بأنواع الأراضي الأخرى ذلك لأن مثل هذه الأراضي تحتفظ بالماء على صورة ماء شعري وماء بقوة الخاصة الشعرية وهي قوة ليست كبيرة وعلى ذلك لا يصعب على النبات ترواع الماء منها . أما الأراضي الطينية فإنه نظراً لدقة حبيباتها تحتفظ بالماء على صورتين : الأولى وهي الماء الشعري والثانية وهي الماء الذي يملأ الحبيبات بقوة التجمع السطحي . وواضح أن القوة الأخيرة كبيرة وتقدر بعدة ضغوط جوية ولا يسيل على النبات الاستفادة منها وعلى ذلك فالأراضي الطينية أقل سعة بمائها من الأراضي الرملية أي أن النباتات تنبذل في الأراضي الطينية وبها كمية من الماء أكثر من الموجودة في الأراضي الرملية عند ذبول نباتاتها .

أما الأراضي الطينية المخترة على المواد العضوية فتطراً لدقة حبيباتها واحوائها على المواد العضوية التي تتحلل في التربة إلى مواد غروية فإنها تحتفظ بالماء على ثلاث صور الأولى وهي الماء الشعري كما في الأراضي الرملية والطينية ، والثانية وهي الماء المملأ للحبيبات كما في الأرض الطينية ، والثالثة وهي ماء التشرب الذي تنشرب به الدقائق الغروية العضوية أي أنها أكثر أنواع التربة احتفاظاً بالماء وتنبذل نباتاتها وما دلت بها كمية من ماء تفوق الموجود منه في الأراضي الرملية والطينية عند ذبول نباتاتها . ويطلق على كمية الماء المتسعة في التربة عند ذبول نباتاتها منسوباً إلى وزن التربة الجاف بمعامل الذبول لهذه التربة Wi ling-coefficient والجدول الآتي يبين درجة التميع ومعامل الذبول لأهم أنواع التربة .

نوع التربة	درجة التميع	معامل الذبول
رملية عضوية	٪ ٤٦	٪ ١٢,٣
طينية	٪ ٥٢	٪ ٨
رملية	٪ ٢٠,٨	٪ ١,٥

### ٣ - درجة تركيز محلول التربة

تقن هذرة المجموع الجذري على امتصاص الماء كلما زاد تركيز محلول التربة. وعندما تتعادل قسبة الضغط الأزمورى لمحلول التربة مع الضغط الأزمورى لخلية الشعيرة الجذرية فإن امتصاص الجذر للماء يقف تماماً وتبدل النباتات إلا أن هنالك بعض مآقات - خصوصاً التي تعيش في البيئات المالحة وعلى شواطئ البحار - يمكنها أن تتغلب على هذه التركيزات العالية واحتمالها وذلك بأن تزيد من قوة الامتصاص لخللا جذورها . ولقد سبق القول بأن الخلايا تنسزم إذ وضعت في محلول ذي ضغط أزمورى أعلا قليلاً من الضغط الأزمورى لعصارتها الخلوية . إلا أنها تتمكن من استعادة مائها وانتمائها بزيادة قوة امتصاصها لطريقتين :

الأولى : بأن تسمح لبعض أملاح البيئة الخارجية بأن تنسرب تدريجياً إلى داخل الخلايا فتريد بذلك من تركيز عصارتها الخلوية فترداد قوة الامتصاص لخللا الجذر .

الثانية : أن تتحلل بعض المواد غير الذائبة داخل خللا الجذر إلى مواد ذائبة (كأن يتحلل النشاء إلى سكر) وبذلك يزداد تركيز محلول المحو ويزداد تبعاً لذلك قوة الامتصاص لخللا الجذر .

### ٤ - درجة التهوية في التربة

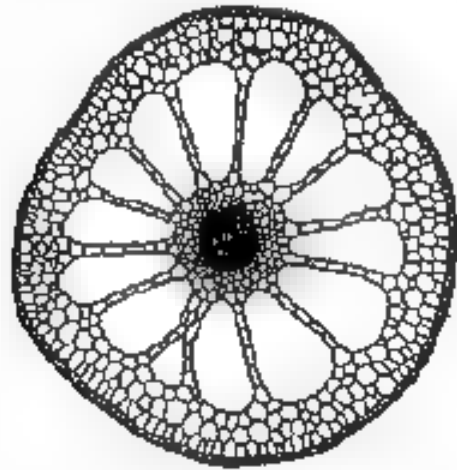
لا بد لعملية امتصاص الجذر للماء من وجود الأكسجين حول المجموع الجذري . فإذا استبدل الأكسجين بأحد الغازات الأخرى كالأرو أو الإيدروجين فإن النباتات سرعان ما تبدل نظراً لعدم حصول جذورها عن امتصاص الماء تحت هذه الظروف اللاأكسجينية . وهذا يفسر لنا عدم استطاعة النباتات النمو في الأراضي المدة أو مينة الصرف أو ذات المستوى للمائي المرتفع . ربما هو جدير بالملاحظة أن الضرر الذي ينشأ لمثل هذه النباتات ليس راجعاً إلى كثرة وجود الماء كما هو شائع ومعروف ولكن الضرر ينتج من عدم وجود وتوفر الأكسجين حول المجموع الجذري بدليل

تحتاج زراعة النباتات في المزارع المائية الصنوعة إذا أحسن تهويتها بدفع تيارات مستمرة من الهواء فيها بين حين وآخر .

ولتهوية التربة فائدة أخرى وهي تنشيط عمل بعض أنواع الكائنات الحية في التربة فتحدث عمليات الأكسدة التي يستفيد منها النبات ( كما سيأتي ذكره بعد ) بينما في حالة عدم توفر الأكسجين فإن الاختيار يحل محل الأكسدة وتتراكم منتجاته السامة في التربة وتؤثر على عملية امتصاص الجذر للماء .

إلا أن هناك بعض نباتات قليلة - كالأرز والسمار - يمكنها أن تعيش وتمتص الماء من التربة قليلة التهوية .

ومن المعروف أن النباتات المائية مثل لالونيا *Eichhornia* لها من التركيب ما يساعدها حل أن تخزن الهواء في فجوات خاصة توجد به جذورها ( شكل ٢٢ )



( شكل ٢٢ )

فصل عرسى في ساق نبات مائي - لاحظ فراغات تخزين الهواء

وقد أوضح Kramer ( ١٩٤٠ ) أن هناك قوتين تسيطران على امتصاص الجذور للماء : الأولى قوة حيوية وهي التنفس ، والثانية قوة طبيعية وهي درجة بغاذية البروتوبلازم ، وأن تأثير القوة الأولى في عملية امتصاص الجذر للماء قليلة إذا

تؤدفت بالقوة الثانية ، وأن سوء التهوية وانخفاض درجة الحرارة لها تأثير كبير على القوة الثانية فتقل كثيراً من فعالية التوتوملازم للماء .

### صعود العصارة . The ascent of sap.

علينا الآن كيف يتمس النبات الماء بواسطة شعيراته الجذرية ، وكيف يسلك هذا الماء طريقه في القشرة إلى أوعية الخشب . أما كيفية وصول الماء من الجذر إلى الأوراق فهذا ما سنحاول معرفته الآن .

في فصل الربيع عندما تكون الأوراق صغيرة وغير كاملة الانسساط فإن الضغط الجذري يكون على أشده بينما يكون معدل النتح قليلاً . وقد أثبتت التجارب أن قيمة الضغط الجذري تنحصر بسرعة عندما تنشط عملية النتح وذلك بعد تمام تكوير الأوراق وانسائها .

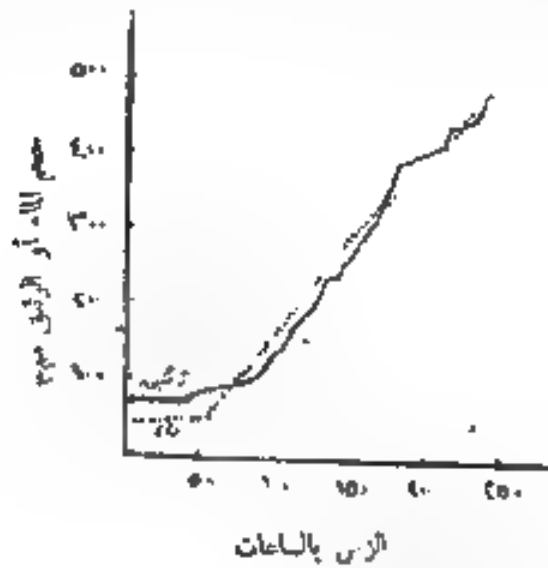
ويختلف قيمة الضغط الجذري اختلافاً كبيراً باختلاف الشجرات والجداول الآتية يبين قيمة الضغط الجذري لبعض النباتات ( سم من الرنق ) وقد تبع في قياسها طريقة المانومتر بعد قطع الأجزاء الخضرية العليا كما سبق توضيحها في ( شكل ٢٠ )

اسم النبات	قيمة ضغطه الجذري
التوتونيا	٠,٧
الزربيع	١,٦
الخروع	٢٢,٤
العنب	من ٩٠ إلى ١١٠

وقد احتوت في الماضي هذه القيم المنخفضة الضغط الجذري دليلاً على عدم أهمية هذه القوة في رفع العصارة ذلك لأنه اتبع عند تقدير قيمة الضغط الجذري هذه

النباتات لإزالة الأجزاء العليا وفصلها عن الجذر فأحدثت عملية الإزالة تأثيراً كبيراً في حالة الجذر مما أدى إلى انخفاض الضغط الجذري إلى القيم المذكورة .

وفي عام ١٩٣٨ أجرى White تجريبته المشهورة فقام بتربية بعض جلدود مادات العظام المنصولة في أنابيب الاختبار خمسة سمعة أشهر حتى زال لآثر الحادث من عملية الفصل ثم قسم الجلدود إلى مجموعتين وأوصل كل جذر في المجموعة الأولى بأبوبة مانومترية رفيعة مملوءة بالماء وأوصل كل جذر في المجموعة الثانية مانومترية مانومترية رفيعة مملوءة بالزئبق وترك بعض الوقت فلم يلاحظ أى فرق بين ارتفاع الماء والزئبق في الأنابيب المانومترية. والنتيجة الوحيدة التي يمكن استخلاصها من هذه التجربة هي أن ارتفاع كل من الماء والزئبق في الأنابيب لم يكن نتيجة لصعق ثابت يتغير بنسبة كثافة الزئبق إلى الماء في هذه التجربة ، وإنما كان نتيجة لدفع الجلدور في كلا الحالتين بحجم متساو من الماء ( شكل ٢٣ )



( شكل ٢٣ )

ارتفاع السوائل في ماسنترين سمانين أسدهما مملوء بالماء ، والآخر مملوء بالزئبق نتيجة لقوة الضغط الجذري . لم تفرز الجلدور في مدة الـ ٤٨ ساعة الأولى لتأثير الحادث من إجراء التجربة ( عن White )



وعندما سقطت قوة قدرها ستة صغوط جوية فوق أسطح الجذور المنقطوعة لم يؤثر ذلك في كمية الماء المفرزة من هذه الأسطح وقد خلص White من هذه النتائج إلى أن قوة الضغط الجذري قوة لا يستهان بها وقد قدرها بأكثر من عشرة صغوط جوية وأنها قد اعتبرت في الماضي قليلة الأهمية نظراً لعدم إدراك تأثير الجرح الحادث من عمية القطع في إغراق السطح المنقطع للماء .

ومن المسلم به الآن أن الماء يأخذ طريقه من الجذر إلى الأوراق عن طريق أوعية الخشب ومن التجارب المشهورة التي تثبت ذلك أنه عند عمس الطرف السفلي لساق حديثة القطع في محلول مائي ملون فإنك تشاهد بعد مدة عند قطع هذه الساق طولياً انصباب أوعية الخشب في الساق بلون الصبغة المستعملة . كما أن تجاربه التحطيق Ringing تثبت نفس النظرية . فإذا قصت جميع الأسجة التي توجد خارج الخشب على شكل حلقة ارتفعها ٢ سم حول الساق فإن الأوراق التي تقع فوق منطقة التحطيق لا تدبل دليلاً على أن حركة صعود الماء إلى أعلا لم تتأثر وأن الماء يسلك طريق الخشب

ويسلك الماء في أوعية الخشب طريقين . أولها طريق خارجي نتيجة لشرب جذر الأوعية الخشبية بالماء والطريق الآخر داخلي خلال تجويف الأوعية إلا أنه ثبتت من التجارب التي قام بها دكسون Dixon ( ١٩١٤ ) أن كمية الماء التي تمر خلال الجذر من القلة بحيث لا تسكن أحيوانات الأوراق وأن أغلب الماء يمر عن طريق تجويف الأوعية الخشبية ، وقد أثبت ذلك بأن أحضر أفرعاً ساقية لنبات التيليا وقسمها إلى ثلاثة مجاميع وعمس الأطراف المقطوعة للمجموعة الأولى في محلول الجيلاتين والمجموعة الثانية في شمع منحصر على درجة ٥٠°م وترك الثالثة بدون معاملة للمقارنة وبعد ٤٠ دقيقة أزال طبقة رقيقة من كل من الأسطح التي عمست في الجيلاتين والشمع وترك جميع النباتات مغموسة في ماء درجة حرارته ١٣°م مدة ١٥ ساعة فلاحظ أن النباتات التي عوملت أطرافها بالشمع ذبلت ذبولاً شديداً بينما لم تدبل النباتات التي عوملت بالجيلاتين بنفس الدرجة . أما النباتات التي تركت للمقارنة

فلم يقرأ عليها شيء . وواضح من هذه التجربة أن النضج سلب اسداد أوعية الخشب بدوجة مطلقة فلم يجد الماء أمامه إلا طريق تشرب الأوعية وهذه لم تكن كافية لسد احتياجات النبات . أما مجموعة النباتات المعاملة بالجيلاتين فلم يكن اسداد الأوعية فيها تاماً فحدث الدبول البسيط بينما سلك الماء طريقه الطبيعي في نباتات المقدرة التي لم تدبل .

وأيضا الآن أن الماء يأخذ طريقه إلى أعلا النبات داخل أوعية الخشب وأن الضغط الجذري هو أحد القوى المسببة لرفع العصارة . وقد وضعت هذه نظريات لتفسير ميكانيكية صعود الماء إلى أعلا النبات ضد قانون الجاذبية الأرضية . ويمكن تلخيص هذه النظريات في نظريتين :

الأولى النظرية الحيوية

الثانية : النظرية الطبيعية

#### النظرية الحيوية :

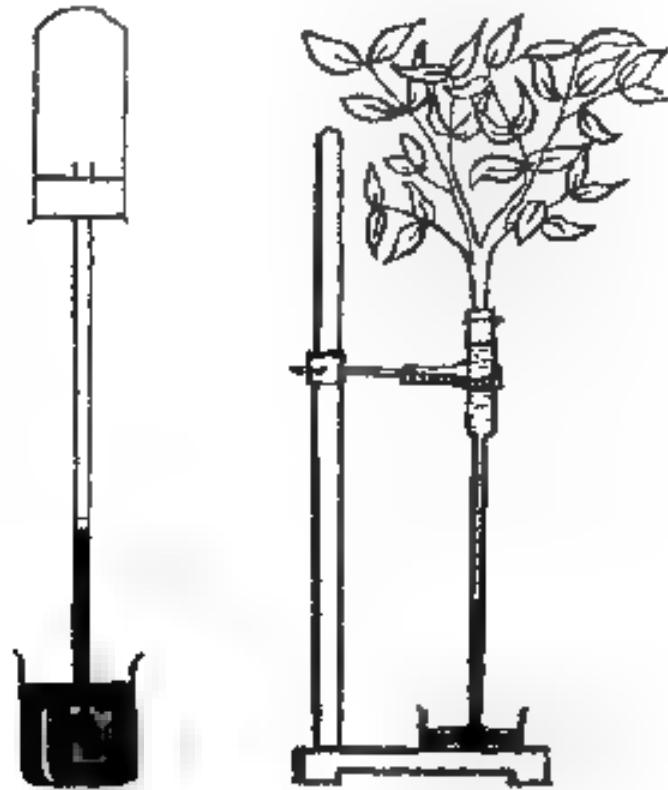
يرى أنصار هذه النظرية أن الماء يرتفع في النبات كنتيجة للنشاط الحيوي للخلايا . ولأن هذه الخلايا لم تدم برفع الماء داخل النبات إلا لأنها تؤدي وظيفتها . غير أن هذه النظرية لم تفسر عملية رشح الماء داخل النبات تفسيراً شافياً . ففي عام ١٨٤٠ أثبت Boucherie بالمرهان الفاطح خطأ هذه النظرية بأن أزال قطعة من ساق شجرة قرب سطح الأرض ثم وضع في الساق المفضوطة سائل يحتوي على مادة سامة فارتفع السائل إلى أعلا ، وبما نصح سبب موت جميع الخلايا التي مر بها . وعندما أعيد وضع كمية أخرى من السائل شوهد صعوده إلى أعلا دليلاً على أن موت الخلايا لم يمنع أيداً من صعود السائل إلى أعلا جزء في الشجرة .

#### النظرية الطبيعية :

وتعتمد هذه النظرية على نظرية التماسك Cohesion theory التي وضعها Dixon & Joly عام ١٨٩٤ ومزودها أن صعود العصارة إنما يرجع إلى قوة التماسك

بين جزئيات أعمدة الماء التي تملأ الأوعية الخشبية ، وأن هذه الأعمدة تدفع إلى أحلا الذوات فوق الضغط الجذري والنتج .

ويمكن عمل تجربة بسيطة لإظهار أثر هذه القوة بأن تقطع ساق نباتية تحت سطح الماء حتى لا يدخل الهواء في أوعية الخشب فتسبب دحوله عند تماسك جزئيات الماء ، وتثبت هذه الساق المقطوعة في قمع زجاجي يتمسك طرفه الرفيع في حوض به زيتون فإنك تشاهد بعد مدة ارتفاع الزيت في ساق القمع ( شكل ٢٤ ) نتيجة لتسمر الماء



( ١ ) ( شكل ٢٤ ) ( ب )

- ١ — تسمر الماء من أسطح الأوراق (النتج) فتولدت قوة شد سببت ارتفاع الماء في ساق القمع
- ب — تسمر الماء من السطح للعروق في الوعاء الفخري (التحجيم) فتولدت قوة شدت ارتفاع الزيت في ساق القمع .

من أسطح الأوراق وهو ما يعرف بالنتح فتولد قوة تشد الأعمدة المائية متحرك إلى  
أعلى لتحل محل الماء المفقود بالتبخر . ويمكن إثبات أن تبحر الماء من أى سطح  
مساوى ( شكل ٢٤ ب ) يحدث قوة تجذب عمود الرشح مثل ما حدث نتيجة نتح النبات  
وبلاحظ أن هناك قوتين تعملان على استمرار سريان موجة الشد هما قوة التماسك  
Cohesion force بين جزيئات الماء وقوة الالتصاق Adhesion force بين جزيئات  
الماء والأسطح الملاصقة له . وقد وجد أن قوة الالتصاق بين جزيئات الماء والأوعية  
الخشبية أكبر منها بين جزيئات الماء والأوعية الرجاجية .

يمكننا الآن أن نتصور كيف يتغلل الماء من الجذر إلى الساق ومنها إلى الأوراق.  
فبواسطة قوة الضغط الجذري يدفع الماء إلى أعلاى أوعية الخشب ويظل عمود الماء  
معلقاً فيها ومتمسكاً بموضع صد الجاذبية لأرضية بقوى الالتصاق والتماسك . وكما  
منزى فيما بعد أن تبحر الماء من أسطح النسيج الميزوفيل لخلايا الورقة يسبب زيادة  
الضغط الأسموزي للخلايا المجاورة لأوعية الخشب وعلى ذلك فإن عمود الماء يجذب  
إلى أعلاى يعرض الماء المفقود من خلايا النسيج الميزوفيل

—————

# الباب الخامس

## انتح Transpiration



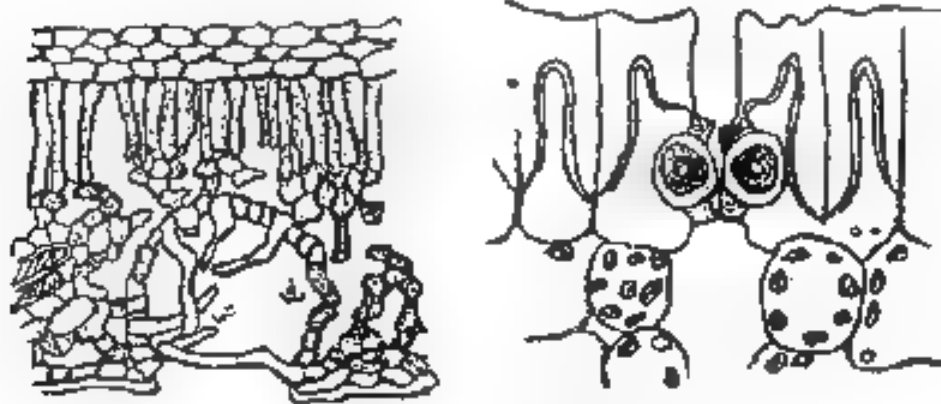
النتح هو فقد النبات للماء على صورة بخار من سطحه المعرض خصوصاً من أسطح الأوراق . وقد فقد النبات عن طريق النتح كميات كبيرة جداً من الماء . فقد قدر أن النبات الواحد من القمح يفقد ٢٠٠ لتر من الماء مدة حياته . من ذلك يرى أن النبات يفقد من الماء أضعاف وزنه ولا يحتفظ داخل أنسجته إلا بما يكفي لقيام بوظائفه.

ولكن نحافظ النباتات على محتواها المائي فإنه يلزم أن تمتص من الماء أكثر قليلاً مما تفقد . وتحتفظ بالعرفق لبناء الأعضاء الجديدة . ولم تكن هذا غير ميسور في كثير من الأحيان وأن معدل الفقد قد يفوق في بعض الأحوال معدل الامتصاص ، فبقي بين النبات نفسه من أخطار الابول التي ترتب على كثرة النتح فإنه يتعين أن يوجد جهاز خاص لتنظيم عملية فقد الماء والتحكم فيه حسب مقتضيات الأحوال . وقد يظن أن كثرة النتح تشجع أو تزيد من معدل امتصاص الماء من التربة ولكن التجارب التي أجراها Mc Lean ( ١٩١٩ ) و Prat ( ١٩٢٣ ) و Parker ( ١٩٢٧ ) وآخرون أثبتت أن زيادة النتح تزيد من معدل الامتصاص إلى درجة معينة وبعدها لا ترتبط زيادة النتح بزيادة في الامتصاص .

وقد يتساءل البعض عن مدى فائدة عملية النتح التي تهدد حياة النبات دائماً بالذبول والعناء ، وما معنى أن يمتص النبات أضعاف وزنه من الماء ثم يفقد هذا الماء الهو ؟ والإجابة على هذا السؤال تقول إن النتح يعمل على تبريد سطح النبات وبدأ ينجو النبات من أثر الحرارة اللافتح حصرها في أوقات الصيف . وقد يكون هذا التفسير صحيحاً فيما يخص بالنباتات العادية أو نباتات المنطقة المتوسطة Mesophytes إلا أن ذلك لا ينطبق على نباتات البيئة الجافة Xerophytes كنبات السكاكتس Cacti التي

لها تركيب خاص وتحتوي نساغها على تقايل النتح إلى أقل درجة ممكنة لتعادي الجفاف . ومع ذلك فإن أنسجتها الداخلية تتحمل درجات من حرارة تفوق كثيراً درجة حرارة الجو الخارجي .

والواقع أن سبب جفاف الأوراق وموتها في أوقات الحرارة والجفاف هو قلة بروتينها من الماء وليس ارتفاع درجة حرارتها . وتعمل النباتات الصحراوية على تعادي النتح أو تقليله بوسائل مختلفة منها سمك طبقة الكيوتين التي تغطي البشرة وجود الثغور في تجاويف عميقة مغطاة بشعور لتعادي النتح المباشر ( شكل ٢٥ ) .



( ١ ) ( شكل ٢٥ ) ( ب )

طرق تعدي النتح في النباتات الصحراوية

- ( ١ ) قطاع عرضي في ورقة باب الصبر مبيناً الثغور والفائف والكيوتين السمك .  
( ب ) قطاع عرضي في ورقة نبات الدقلة . لاحظ وجود الثغور في محوф مغطى بالشعيرات على القطاع السفلي للورقة .

ومن فوائد النتح أنه يعمل على جلب كميات كبيرة من محلول التربة المحمل بالأملاح الغذائية وهذه تدخل في عمليات البناء في النبات علاوة على أن عملية النتح تساعد على رفع العصارة .

### أنواع النتح :

لنتح نوطن : النتح الأدنى Cuticular transpiration

و النتح الثغري Stomatal transpiration

فالتنح الأدي هو تبحر الماء من السمات عن طريق الأدمة أو البشرة وهو كبير الأثر في الأوراق الصغيرة وبشرة السروق النضج حيث تكون معطاة بطبقة رقيقة من السكيرون ، حتى إذا ما زاد سمك هذه الطبقة قل معدل التنح الأدي أو انعدم نهائياً . وعلى السموم فهو في أحسن حالاته لا يزيد قيمته عن  $\frac{3}{100}$  من مجموع ما ينتجه النبات .

أما التنح الثغري فهو تبحر الماء من الثغرات عن طريق الثغور وهو أهم أنواع التنح إذ هو المسؤول عن  $97\%$  أو أكثر من مجموع ما يقعده النبات بالتنح .

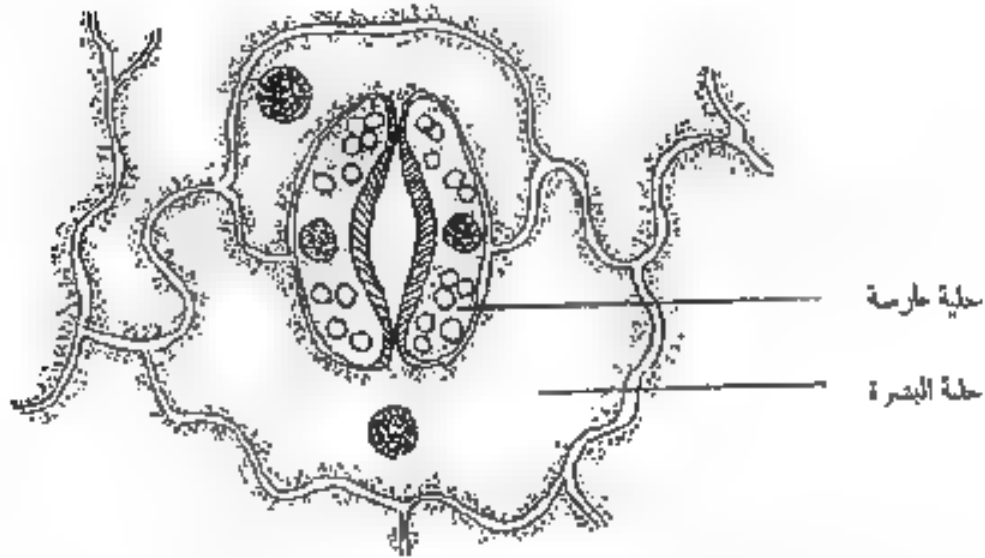
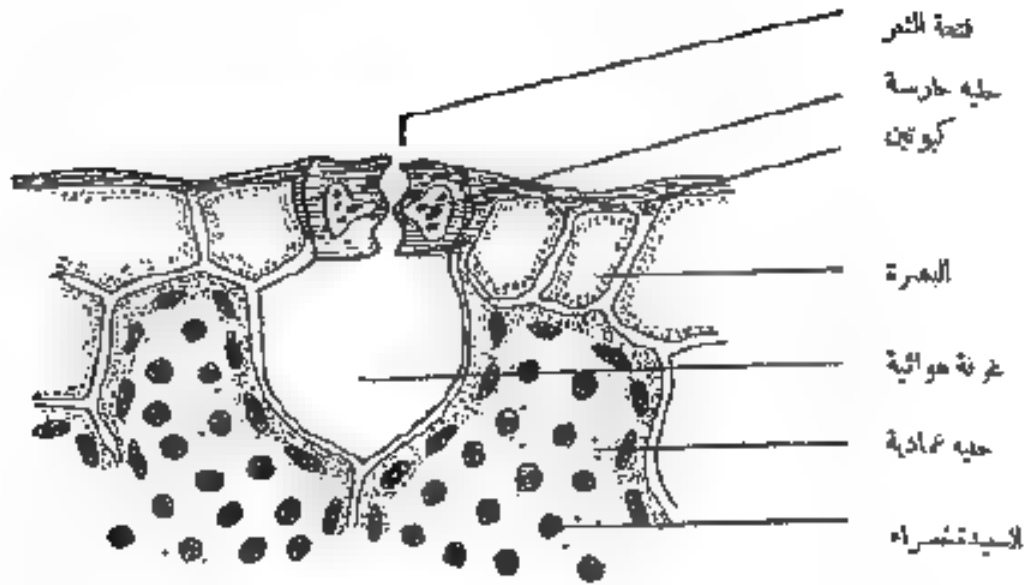
### جهاز تنظيم التنح (الثغر) Stoma

يتركب هذا الجهاز من خليتين شقيقتين يعرفان بالخليتين الحارستين Guard cells وهما ناشتان من انقسام خلية من خلايا البشرة ثم تولد الصعيحة الوسطية التي بين الخليتين ويروها فتكون فتحة الثغر .

وتمتاز الخلية الحارسة عن باقي خلايا البشرة باحتوائها على المادة الخضراء وبتطور تعليط غير متساوٍ في التوزيع على جدرانها

فالخليه الحارسة في معظم النباتات ذات الفلقتين يتغاط جدرانها العلوى والسفلى حيث يكونا غاية في السمك في الوسط ثم يتدرج التعليط في القلة إلى النهايتين ويبقى الجدار الخلفى الفاصل بينها وبين حنية البشرة رقيقاً كما تظل رقيقة نقطة الاتصال بين طرفي الجدارين العلوى والسفلى والتي تحد فتحة الثغر ( شكل ٢٦ ) .

وبفتح الثغر عند امتلاء الخلية الحارسة بالماء فيتمدد البروتوبلازم ويضغط أشد ما يكون على الجدار الرقيق الخلفى فيسبغ هذا الجدار في داخل حنية البشرة انحناءه حتى إذا ما وصل انحناء الجدار إلى أقصى حد تسمح به مرونته تتحرك فقطاً الاتصال بين الجدار الخلفى والجدارين السميكين العلوى والسفلى إلى الخلف قليلاً ويحدث نتيجة لذلك أن تتدد نقطة الاتصال بين الجدارين العلوى والسفلى من الجانب الألى يحد فتحة الثغر فتستدير هذه النقطة بعد أن كانت مدببة وبذلك يفتح الثغر .



(شكل ٢٦)

الرسم العلوي يمثل قطعاً مزمياً في ورقة سيق الثمر والطحين المارستين وانصاف  
خزفة الهوائية والخللا المجيطة به .

الرسم السفلي يبين منظر صوي لثمر والخللا ، غارسة ، والصلها ، بخلايا بشرة الورقة  
( عن Kny صرر )



ويحدث العكس عندما يقلل الثمر نتيجة لعدم الخلية الجارسة ، بل قد فيضائل طريق  
الجذر أن العلوى والسفلى ويتبين وتقل بذلك فتحة الثمر .

### كيف يفتح النبات :

إذا فتح الثمر وكانت العوامل الجوية مواتية لتحرر الماء ، فإن جدر خلايا  
الميزوفيل الواقعة حول العرق الهوائية تنهد بعضاً من مائها إلى العرق الهوائية ومنها  
إلى الجو الخارجى ، فحاور ، أسعاده تشبعها من الخلايا المجاورة لها وهكذا إلى أن  
تصل إلى أوعية الخشب وبذلك تسرى موجة من جذب الماء أولاً الجدر الخلوية  
للخلايا المحيطة بالعرق الهوائية وآخرها الوعاء الخشبي.

وتحدث موجة جذب أخرى للماء بواسطة قوة الامتصاص للخلايا . ذلك أنه  
عند تبحر الماء من جدران الخلايا المحيطة بالعرق الهوائية فينبأ تفصول إعادة تشبعها  
من ماء جريتها العنصرية يزداد تركيز العجوة ويزداد تبحراً لذلك تنضغط عصيرها  
الأمورى فينتقل إليها الماء من جوة الخلية المجاورة وهكذا تسرى موجة جذب  
أخرى للماء مماثلة للأولى ومسببة عن قوة الامتصاص .

فإذا تصورنا أن الماء موجود في النبات على شكل خيط شحري نهايته في خلايا  
الجدر الملاصقة للتربة وأوله في جدر خلايا الميزوفيل المحيطة بالعرق الهوائية فإذا ما  
جذب أوله فإن خيط الماء يظل متصلاً ويتحرك من التربة إلى أعلا .

### طرق قياس النتح :

يفاس معدل النتح في النباتات المختلفة بتقدير كمية الماء التي يمتصها النبات في وحدة  
معيية أو بما تفقده مساحة معينة من الورقة في وحدة الزمن والطريقة التي تتبع في  
المادة هي تقدير وزن الماء بالجرام الذى يفقد من ديسيمتر مربع من سطح الورقة  
في الساعة .

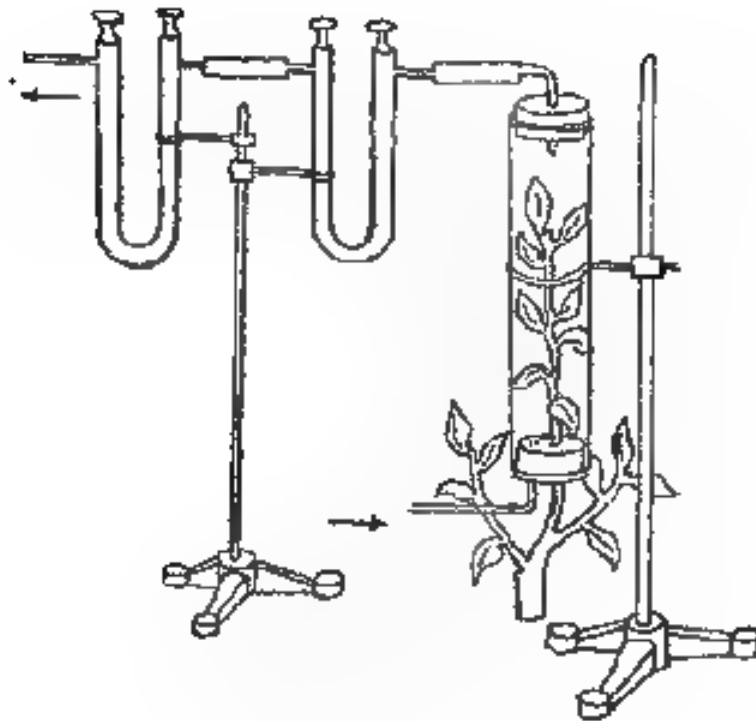
و لقياس النتج طرق كثيرة أهمها :

١ — طريقة ورقة كلودور الكوبلت :

وهذه الطريقة مبنية على ظاهرة مبروكة وهي أن كلودور الكوبلت عندما يكون جافاً يعطى لوناً أزرق ولكن عند ترطيبه بالماء يصبح لونه وردياً . ولإجراء هذه الطريقة يشح بعض ورق الترشيح بمحلول كلودور الكوبلت  $\frac{2}{3}$  ثم يترك ليجف في الفرن وينقل بعد تمام جفافه في جفف يحوى على كلودور الكالسيوم اللامائي . عند تعطية سطح الورقة النباتية بورقة كلودور الكوبلت الجافة ، وتعطية ورقة الكوبلت لوح زجاجي لينفع عنها أثر الرطوبة الجوية فإن ورقة الكوبلت تحول بعد مدة من اللون الأزرق إلى اللون الوردي بتأثير الماء للتبخر من سطح الورقة النباتية . وبمعرفة الوقت اللازم لكي يتحول لون الورقة يمكن مقارنة معدل النتج بين أوراق النباتات المختلفة . إلا أن هذه الطريقة لا يصح استعمالها للتقدير الكمي ويكتفى باستعمالها للتقدير الوصفي والمقارنة . ولما أنه أدخل عليها بعض التعديلات إلا أنه حتى بعد هذه التعديلات فإنها لا زالت معرضة للنفذ . مثلاً وضع ورقة الكوبلت على ورقة النبات ثم وضع لوح زجاجي فوقها لا يسمح للورقة أن تنجح تنحاً طبعياً كما لو كانت تحت الظروف العادية .

٢ — طريقة فريمان . Freeman's method

تلخص هذه الطريقة في إمرار تيار هوائي خال من بخار الماء ( بإمراره على كلودور الكالسيوم اللامائي أو حامض أكسيد الفسفور ) بسرعة معينة على فرع نباتي موضوع في حيز معين ولا يزال الفرع متصلاً بالنبات ( شكل ٢٧ ) ثم إمرار تيار الهواء الخارج في أنابيب تحتوي على كلودور الكالسيوم الجاف معلومة الوزن ليعوم بانتصاص بخار الماء الذي يحمله تيار الهواء الخارج على النبات في مدة معينة . فيأخذ وزن أنابيب كلودور الكالسيوم يمكن معرفة كمية الماء المفقود بالنتج في زمن معين .



( شكل ٢٧ )

جهاز لقياس سرعة النتح بطريقة مرئىة

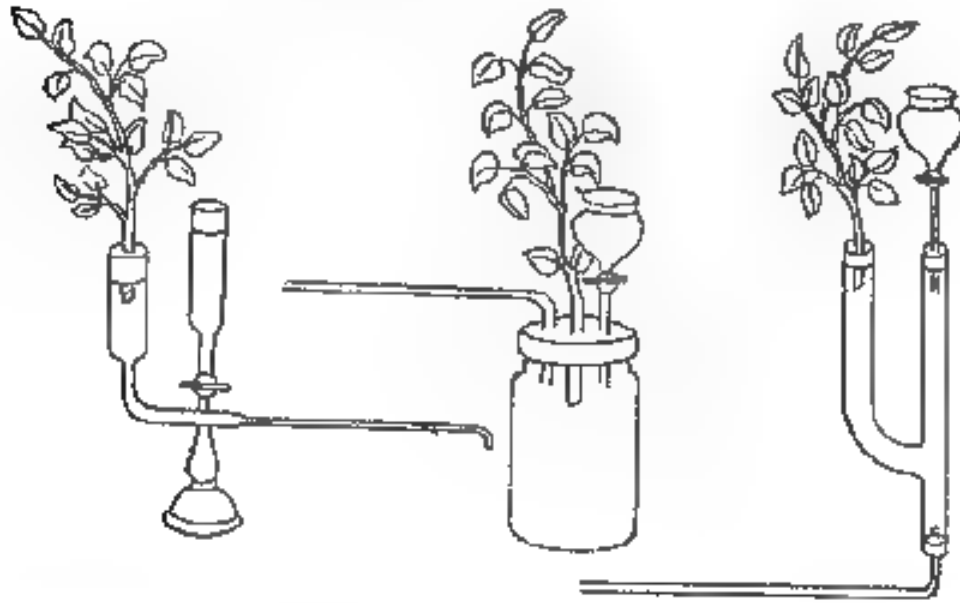
### ٣ - طريقة الوزن .

تعتبر هذه الطريقة أفضل الطرق التي يمكن الاعتماد عليها لقياس النتح . ولإجرائها يؤخذ نبات منزرع في أصيص ويغطى سطح التربة وجدران الأصيص بطبقة من الشمع أو اللطاط حتى لا يفقد الماء إلا عن طريق المجموع الخضرى للنبات ثم يوزن الأصيص والنبات على فترات مختلفة ويسجل مقدار الفقد في كل مرة ويساوى في قيمته كمية الماء التي فقدتها النبات .

### ٤ - طريقة البوتومتر :

تتضمن في هذه الطريقة الأفرع المقطوعة وليس النبات الكامل كما في الطريقة السابقتين والطريقة أن تقصع الأفرع تحت سطح الماء وتثبت في البوتومتر . وللبوتومتر أشكال عديدة كالمبينة في ( شكل ٢٨ ) ثم يجمع البوتومتر من الخارج جيداً ويوزن

ويترك بعض الوقت ثم يعاد وزنه وسكر التجربة عدة مرات ويسجل النقص في الوزن ومنه يمكن إيجاد معدل النتح في وحدة الزمن . ويلاحظ أن القراءة التي على تدريج البوتومتر لا يمكن اتخاذها مقياساً للنتح لأنها في الواقع تعاوى قيمة ماء النتح زائداً الماء الذي تمتصه النبات لأغراضه الأخرى .



( شكل ٢٨ )

ثلاثة أشكال مختلفة لبوتومتر

### توزيع الثغور على سطح الورقة :

يختلف عدد الثغور في الوحدة المربعة لأوراق النباتات المختلفة اختلافًا كبيراً . وحتى في النبات الواحد فإن عدد الثغور في الوحدة المربعة من سطح الورقة العلوى يختلف عنها في السطح السفلى للورقة . في أوراق النباتات العادية كالبرسيم تكثر الثغور على السطح السفلى للورقة عنها في السطح العلوى . وقد تسمى الثغور كلية على السطح العلوى لأوراق كثير من النباتات خصوصاً في الأوراق الجلدية .

أما في الأوراق القائمة كأوراق بعض الحشائش والمباتات العصارية فإن عدد الثغور على السطحين يكون واحداً ، وفي الأوراق الطافية للنباتات المائية توجد

الثغور على السطح العلوى فقط. وعلى العموم فإن الثغور تكثر على الأسطح الأكثر حماية من تأثير الحرارة والضوء. والجداول الآتية تبين عدد الثغور في المليمتر المربع للنباتات المختلفة (عن Skene ١٩٢٤)

اسم النبات	عدد الثغور في المليمتر المربع	
	على السطح العلوى	على السطح السفلى
الدشنة الأبيض	٤٦٠	٠
البلوط	٠	٣٤٦
الصنوبر	٠	٢٤٦
الجنتيانا	٦١	١٢٣
المستحية	١٨٧	٣٠٨
الفصح	٤٧	٣٢

ويختلف توزيع الثغور على السطح الواحد من الورقة فهي أكثر تكاثفاً حراً، والرق الوسطى ثم تقل تدريجياً كلما اتجهنا إلى الحافة.

ويلاحظ أن مجموع مساحة فتحات الثغور في الورقة تكون قليلاً جداً بالنسبة إلى المساحة الكلية لها. ففي نبات عباد الشمس يوجد ٣٣٠ ثغراً في المليمتر المربع ويشغل الثغر الواحد عند تمام انفتاحه مساحة قدرها ٠,٠٠٠٠٩٠٨ من المليمتر المربع فمكون مجموع مساحاتها ٠,٠٣ من المليمتر المربع أى أن مساحة الثغور تساوى ٣٪ من مساحة الورقة الكلية.

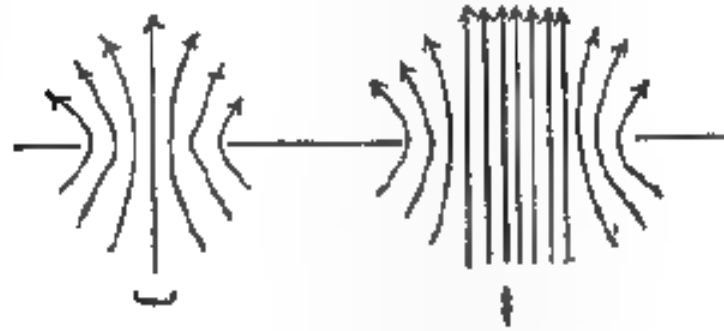
#### السعة الانتفاخية للثغور Diffusive capacity of stomata

لاحظ Bakka (١٩١٩) أن كمية الماء التي تعوضها ورقة عباد الشمس تعادل ٦٠٪ من كمية الماء المتبخر من سطح معرض من الماء يساوى في مساحته مساحة سطح ورقة عباد الشمس منع أن مساحة فتحات ثغور الورقة تعادل فقط ٣٪ من مساحة سطحها. وراحح من ذلك أنه لو كان معدل التبخر يتناسب مع مساحة فتحات

التعور بالنسبة للمساحة الكلية للسطح الناتج لما وادت نسبة التثقب عن ٣ ٪ وعلى ذلك فإن بخار الماء ينتشر من التعور بمعدل يزيد ٢٠ مرة من معدل انتشاره من مساحة مساوية من سطح التبحير المعرض للهواء الجوى مباشرة .

ونفس هذه الظاهرة بالقوايين الطبيعية الخاصة بانتشار الغازات خلال فتحات صيغة . من المعروف أن معدل انتشار الغازات خلال فتحات بخلفة الأقطار لا يتناسب مع مساحة الفتحات بل يكون متناسلاً مع أقطارها .

ولتفصيل ذلك نعرض أن لدينا حاجزاً به ثقبان ( ب ) ( شكل ٢٩ ) وأن الثقب ( ١ ) أوسع من الثقب ( ٢ ) وزيد الآن أن رى طريقة انتشار الغازات خلال كل منهما على حدة .



( شكل ٢٩ ا و ب )

رسم تخطيطي يبين خطوط انتشار الغازات خلال ثقب واسع ( ا ) وثقب ضيق ( ب )

من الرسم يوضح أن الغازات تنتشر من مركز الثقب في اتجاه رأسى ريتسع ذلك بالطبع بناسب سرعة الانتشار مع مساحة الثقب طردياً . أما عند محيط الثقب فإن الغازات تنتشر في اتجاه جانبي بالإضافة إلى الاتجاه الرأسى وهذا يؤدي إلى زيادة معدل الانتشار من الأجزاء المحيطية عن الأجزاء المركزية . وحيث أنه في الثقب الواسع تكون الأجزاء احافية أو المحيطية فيها قليلة بالنسبة إلى مساحة الثقب الكلية فإن معدل الانتشار في هذه الثقوب يتناسب مع مساحتها . وكل فت مساحة ثقب زادت نسبة الأجزاء المحيطية إلى مساحة الثقب الكلية حتى أنها تشغل جميع

مساحة الثقب في الثقوب الصغيرة جداً وعلى ذلك فإن معدل الانتشار يكون متناسباً مع طول الحافة وباتالى مع قصر الثقب . فكل قلت مساحة الثقب كلما زاد معدل الانتشار بالنسبة للوحدة .

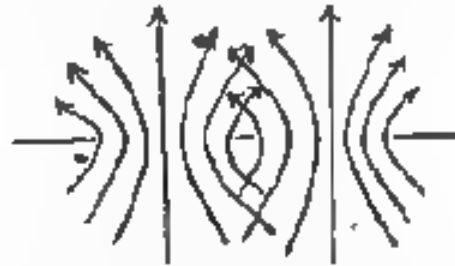
وعلى ذلك فإذا استعمل حاجزان أحدهما يحتوى على ثقب واحد كبير والآخر يحتوى على عدد من الثقوب الصغيرة تساوى في مجموع مساحاتها مساحة الثقب الواحد فإن معدل الانتشار من مجموع الثقوب الصغيرة يكون كثيراً معدل الانتشار من الثقب الواحد الواسع .

والجدول الآتي بين النتائج التي حصل عليها Brown and Escombe عند استعمال حواجز مصنوعة من السليولويد ومثقة ثقوب مختلفة العدد وقطر الثقب الواحد ٢٨ . من المليمتر والثقوب موزعة على أبعاد مختلفة في الحواجز المستعملة .

عدد الثقوب في الحاسر من بينها مع حياض الساعة يدها بأقطار الثقوب	عدد الثقوب في استيعاب لتر في حاجز	مجموع مساحة الثقوب في المائة بالنسبة لمساحة الحاجز	معدل الانتشار الحادث في المائتين لو كان الانتشار خلال ثقب واحد	معدل الانتشار النظري والمائة في لو كان الانتشار خلال ثقب واحد
٢,٦٢	١٠٠,٠٠	١١,٣٤	٥٦,١٠	٨٧,٦٠
٥,٢٦	٢٥,٠٠	٢,٨٢	٥١,٧٠	٦٣,٧٠
٧,٨٠	١١,١١	١,٢٥	٤٠,٦٠	٤٤,٠٠
١٠,٥٠	٦,٢٥	٠,٧٠	٣١,٤٠	٣٠,٧٠
١٣,١٠	٤,٠٠	٠,٤٥	٢٠,٩٠	٢١,٩٠
١٥,٧٠	٢,٧٧	٠,٣١	١٤,٠٠	١٥,٥٠

ويتضح من هذا الجدول أنه عندما كانت مجموع مساحة الثقوب في الحاجز تساوى ١١,٣٤٪ من مساحة حاجز كل معدل انتشار الغازات خلالها مساوياً ٥٦,١٠٪ فيما لو كان الحاجز غير موجود. أما عندما كان مجموع مساحة الثقوب في الحاجز مساوياً ٠,٣١٪ من مساحة الحاجز كان معدل الانتشار مساوياً ١٤٪ أى أن معدل الانتشار خلال ثقوب الحاجز بمعدل ٥٠ مرة معدله فيما لو جمعت الثقوب كلها في ثقب واحد .

ومن هذا الجدول يتضح أيضاً أنه عندما كانت الثقوب متنازعة جداً من بعضاً حدث تداخل ( شكل ٣٠ ) ذلك لأن تجاور الثقوب بسبب تداخل الخطوط التي تمثل انتشار الغازات خلالها والتي تنحرف جانباً عند مغادرتها للثقب فيقل معدل انتشارها تبعاً لذلك . وبين العمود الأخير من الجدول السابق الحساب النظري لمعدل الانتشار إذا لم يحدث هذا التداخل . ويتضح كذلك من الجدول أن القيمة النظرية لمعدل الانتشار تساوي القيمة الفعلية فيها لو كانت الثقوب تبعد عن بعضها بما لا يقل عن عشرة أمثال قطرها ، وعندما كانت المسافة بينها أقل من ذلك حدث التداخل وقلبت قيمة الانتشار الفعلية عن القيمة النظرية



( شكل ٣ ) بين خطوط انتشار الغازات من ثقبين متجاورين . لاحظ تداخل الخطوط

المتجاورة مما يطل من عملية الانتشار

وهناك عامل آخر يؤثر في معدل انتشار الغازات من الثغور الضيقة هو سمك الحاجز المثقب . ففي حالتنا إذا كان الثقب عميقاً فإن معدل الانتشار يقل عما لو كان الثقب سطحياً . وعن ذلك فيمكن تشبيه سطح الورقة المثقورة على الثغور بحاجز مثقب يحصل سطح الورقة الداخل عن الجو ، ولعل ذلك يفسر لنا ارتفاع النتح النسبي للأوراق .

### ملاحظة:

النتح النسبي هو نسبة معدل فقد الماء من سطح نباتي إلى معدل فقد من سطح نباتي مماثل له في المساحة ومعرض للهواء الجوى وتحت نفس الظروف .

فتح الثغور وقفلها ومعرفة ذلك بالقصود والمعلوم :

من المعروف أن عملية فتح وقفل الثغور تحدث نتيجة لامتلاء وعدم امتلاء



الخلايا الحارسة . وتمتاز جدران الخلايا الحارسة بعدم تساوى تغليظها . ومن المعروف كذلك أن الثغور تفتح في الضوء وتغلق في الظلام غير أن هذه ليست القاعدة دائماً في معظم النباتات .

وقد وضعت نظريات كثيرة لتفسير ظاهرة امتلاء الخلايا الحارسة وعدم امتلائها . ويلاحظ أن هذه النظريات جميعاً تساند بعضها بعضاً ولا بد من الأخذ بها مجتمعة لتساعدنا على فهم هذه الظاهرة .

وأولى هذه النظريات مبنية على اختواء الخلايا الحارسة للجهاز الثغرى على البلاستيدات الخضراء وتناول خلايا البشرة العادية منها مما دعا إلى الظن بأنه عند إضافة هذه الخلايا إلى البلاستيدات الخضراء ، فإن الخلايا الحارسة تقوم بعملية التمثيل السكرى فتكون السكريات اللدائبة التي ترفع من قيمة الضغط الأزمورى للعصير الخلوى للخللايا الحارسة فتزداد قوة امتصاصها فتجذب الماء إليها وتنفخ . وبذلك يفتح الثغر . وقد أثبت البحث أن الضغط الأزمورى للخللايا الحارسة قد يبلغ ٩٠ ضغطاً جويّاً في الضوء بينما يقل الضغط الأزمورى لخللايا البشرة لأخرى في هذه القمة ، ويبحث في الظلام أن ينحصر الضغط الأزمورى للخللايا الحارسة إلى أقل من قيمته في خلايا البشرة فينتج عن ذلك قفل فتحة الثغر . واجدول الآتى يبين التغير في الضغط الأزمورى للخللايا الحارسة و خلايا البشرة لنبات النعنع في ساعات النهار المختلفة

[ من نتائج Wiggins ( ١٩٢١ ) ]

الساعة	الخلايا الحارسة	خلايا البشرة
٧ صباحاً	٢٣,٥ ض. ج	١٢,٥ ض. ج
٩	٢٢,٠	»
١١	٣١,٦	»
١ بعد الظهر	٣١,٦	»
٣	٣٠,٢	»
٥	٢٥,٠	»

وواضح من هذا الجدول أن الخلايا الحارسة فقط هي التي مراد ضغطها الأزموزي مع ساعات اليوم بينما يبقى الضغط الأزموزي للخلايا البشرة ثابتاً وقد أظهرت التجارب أن زيادة الضغط الأزموزي للخلايا الحارسة لدى بسبب فتح الثغور لا يمكن أن يعزى إلى قيام هذه الخلايا بعملية امتثيل الكربوني فقط لأن بعض الخلايا الحارسة كما في حالة الدور ثا المبرقشة لا تحتوي على بلاستيدات خضراء وبذلك لا يمكنها القيام بعملية امتثيل الكربوني وفي مثل هذه الحالة الأخيرة فإن فتح الثغور يعزى إلى تحلل النشاء المخزن تحليلاً مائياً إلى سكر ذائب يزيد من الضغط الأزموزي للخلايا الحارسة وقد وجد أن الخلايا الحارسة لجميع النباتات — حتى تلك التي لا يتكون أوراقها النشاء كأوراق نباتات ذات الفلقة الواحدة — تحتوي على النشاء .

وقد لاحظ سعيد وطلبة ( ١٩٤٨ ) أن امتناخ الثغور يكون مصحوباً بنقص في المحتوى النشوي للخلايا الحارسة وأنه يزداد عند قصها . وعلى ذلك فإن عمل الخلايا الحارسة في الضوء هو عكس ما تفعله خلايا المبروقيل لأن الأخيرة في نباتات ذات الملتصين تبنى السكر الذي سرعان ما يتحول إلى النشاء في الضوء وتحلل إلى سكر في الظلام . إلا أن Sayre ( ١٩٢٦ ) أثبت أن تحول النشاء إلى سكر وانعكس إنما يرجع إلى التغير في الأس الأيونيوسميت للخلايا الحارسة ( pH ) فعندما عرض أوراق باب الحبيب Rumex ليبحار الأمونيا في الظلام فإن ثغورها انفتحت وسمح بوجوده في الظلام . وعندما نقل الأوراق إلى جو حامض قهقت الثغور وهي في الضوء . وبناء على هذه التجارب وصح نظريته القائلة بأنه في الظلام يتراكم حامض ( ك<sub>٢</sub> ) الناتج من التنفس في الخلايا الحارسة ويعمل على خفض رقم ( pH ) في عصيرها الخلوي وهذه الحالة تناسب تكوين النشاء من السكريات الدائرية ولذا ينخفض الضغط الأزموزي للخلايا الحارسة وينقص محتواها المائي فتعمل فتحة الثغور . أما في الضوء فإن عملية امتثيل الكربوني تستهلك ( ك<sub>٢</sub> ) الناتج من عملية التنفس ويتبع ذلك ارتفاع رقم ( pH ) للعصير الخلوي وهذه الحالة تلائم تحلل النشاء إلى سكر وبذا يرتفع

الضغط الأسموزي للخلايا الحارسة فتجلب إليها الماء وتنفخ ويفتح الثغر تبعاً لذلك. ويرى Scarth (١٩٢٦ - ١٩٢٧) أن عملية فتح وقفل الثغور تحدث بسرعة كبيرة لذلك فإنه يصعب تفسيرها على ضوء تحول النشاء إلى سكر والعكس لأن عمل أنزيم الديامستير من البطء بحيث يحتاج إلى بعض الوقت قبل أن يحدث التغير في السكر أو النشاء. فقد لوحظ أن دقيقة واحدة تكفي لكي يفتح ثغور ورقة البلاء جونياً عند تعرضها للضوء. لذلك فهو يرى أن الضوء يسبب رفع رقم (pH) للعصير الخلوي وهذا يزيد من قابلية المحتويات العروية للحلية للتشرب بالماء فتتصم الماء من الخلايا المجاورة بقوة التشرب ويفتح الثغر تبعاً لذلك. أما في الظلام حينها ينخفض رقم (pH) لمرآكم (ك. أ.) في العصير الخلوي للحلية فإن المحتويات العروية تجد أن الخلية تقل قدرتها على الاحتفاظ بماء التشرب الذي يفسر إلى الخلايا المجاورة وهذا يعمل الثغر. ويقول Scarth أن تشرب أو عدم تشرب الخلايا الحارسة بالماء لا يسبب إلا سرعة قفلها أو فتحها، أما سبب بقاءها على هذه الحالة فهو تحمل السكر إلى نشاء والعكس كما سبق ذكره أي أنه يتفق مع الآراء السابقة من هذه الناحية ويعزو فقط سرعة الفتح والقفل إلى تشرب وعدم تشرب عرويات الخلايا الحارسة.

### العوامل التي تؤثر في معدل النتح :

تؤثر العوامل الخارجية والداخلية تأثيراً كبيراً في معدل النتح. وأهم العوامل الخارجية هي الرطوبة الجوية وحركة الهواء والحرارة والضوء. أما العوامل الداخلية فأهمها المحتوى المائي لخلايا الميزوفيل والجهاز الثغري.

### العوامل الخارجية :

#### ١ - الرطوبة الجوية :

توجد علاقة وثيقة بين معدل النتح ودرجة تشبع الهواء الجوي بالرطوبة فكما انخفضت درجة رطوبة الجو ( زاد معدل النتح والعكس بالعكس ) وعلى ذلك فإن معدل النتح يتناسب عكسياً مع درجة الرطوبة الجوية .

## ٢ - حركة الهواء :

نسب من حركة الهواء ، زالة طبقة الهواء الملاصقة للأسطح ، الأوراق الناعمة والتي تكون أكثر تحملاً ببخار الماء من باقي طبقات الهواء الأخرى فيجمل عليها هواء جديد أقل تشبهاً بالرطوبة من سابجه فيزداد معدل التنحيم أم إذا كان الهواء ساكناً فإن طبقة الهواء الملاصقة للأوراق تظل في مكانها فيقتل معدل انتشار بخار الماء من الغرفة هوائية إلى الخارج وبذلك يقل معدل التنحيم

## ٣ - درجة الحرارة :

من الحقائق المعروفة أن رفع درجة حرارة أي سائل يزيد من معدل تبخيره وعلى ذلك وكلما ارتفعت درجة حرارة النبات ازداد معدل التبخر من الخلايا المحيطة بالفرقة الهوائية فيزداد تركيز بخار الماء بالغرفة ويزداد معدل انتشاره خلال فتحة الثمرة . وكذلك إذا ارتفعت درجة حرارة الجو زادت قابليته للتشبع ببخار الماء وذلك مما يساعد على سرعة تبخر الماء من الأوراق ويزداد معدل التنحيم .

ويختلف تأثير الحرارة على معدل التنحيم باختلاف النباتات فقد لاحظ Briggs and Shantz ( ١٩١٥ ) أن الخط البياني الذي يمثل التنحيم في نباتات النعنع والشوفان والبرسيم الحجازي قد جاور نظيره الذي يمثل درجة الحرارة بينما سمر الخطان بنفسه وحدة في نبات الراي Rye والليرة السكرية أما في نبات الأمانثوس *Amaranthus* فإن خط التنحيم البياني تأخر عن نظيره الذي يمثل الحرارة وقد لاحظ Kosaks ( ١٩٣٣ ) أن معدل التنحيم في الأوراق التي تحتوي على نسبة عالية من صبغة الاثوسيانين انخرا بزيادة في الأوراق التي تحتوي على نسبة أقل من هذه الصبغة ، وقد مر هذا الفرق في معدل التنحيم بأن الأوراق التي تحتوي على نسبة أعلى من صبغة الاثوسيانين يكون معدل امتصاصها للحرارة أكبر من التي تحتوي على نسبة أقل من هذه الصبغة .

## ٤ - الضوء :

سبق أن أوضحنا تأثير الضوء على عملية فتح وغلق الثغور . وقد وجد Henderson

(١٩٢٦) أنه يريد من معدل التسخين بنسبة  $\frac{1}{2}$  منها  $\frac{1}{2}$  يعبر عن التأثير الحراري للصوم. وقد زيد الصوم من معدل التسخين بمعدل أو أكثر من العوامل الآتية :

( أ ) قد يسبب رفع درجة حرارة الورقة بأن يتحول جانب منه بواسطة المادة الخضراء إلى طاقة حرارية فترفع درجة حرارة الورقة المصاة ويزداد تبعاً لذلك معدل التسخين .

( ب ) قد يسبب الضوء تحول بعض جزيئات الماء إلى بخار بإعطائها الطاقة اللازمة وذلك بدون حاجة إلى رفع درجة حرارة الورقة .

( ج ) قد يحدث تغيراً في درجة تشرب الجدران الخلوية بالماء فيجعل جدران الخلايا أكثر نقاذية للماء فيزداد معدل التسخين .

( د ) وقد يكون الضرر سبباً في زيادة نقاذية الجدران البروتوبلازمية فيسهل مرور الماء من البروتوبلازم إلى جدار الخلية فيرفع الضغط البخاري للسطح الناحي ويرتفع تبعاً لذلك معدل التسخين

ولنوع الصوم تأثير كبير على معدل التسخين فقد لوحظ أن لألوان الطيف المختلفة تأثيرات مختلفة على معدله وذلك لاختلاف أطوال موجاتها فتختلف بذلك مقدرة الأوراق الخضراء على امتصاصها فقد لوحظ أن اللون الأحمر - وهو أطول أمواج الطيف - يزيد كثيراً من معدل تسخين الأوراق بينما يقل معدله في الصوم الأزرق لأنه أقصر أمواج الطيف .

#### العوامل المرافقية :

##### ١ المحتوى المائي للسبج الميزوفيل :

أثبت التجارب أن الخط البياني الذي يمثل معدل التسخين لا يطبق على الخط البياني الذي يمثل معدل التبخر من السطح المائي لأمراض الهواء الجوى تحت نفس الظروف فبينما يأخذ معدل التسخين في الزيادة كلما تقدم النهار حتى يصل إلى أقصاه حوالى الظهر ثم يتناقص ، نجد أن معدل التبخر يأخذ في الزيادة لبعث ساعات أخرى بعد الظهر

قبل أن يبدأ في التفتحان . والسبب في ذلك هو اختلاف تركيب السطحين . ذلك أن الماء يوجد في النبات على شكل خيوط مائية شعيرية في جدران الخلايا . فإذا تبخر الماء من أطرافها تراجع في الخيوط الشعيرية وزاد نقر سطحه وارداً تبعاً لذلك توتره السطحي وقلت مقدرة الماء على التحرك وهذا يفسر بدء نقص معدل التفتح تحت ظروف لا تزال ملائمة لعملية التفتح من الأسطح المائية المغمورة . وعندما يرتفع معدل التفتح ويجاوز معدل امتصاص النبات للماء ينقص انحناء أناني للورقة تدريجياً وتزداد ندجة نقر نهايات الخيوط المائية وينحصر تبعاً لذلك فقد الماء من خلايا الورقة تدريجياً إلى أن يدبل النبات ويقتل تنحدر إلى درجة كبيرة .

## ٢ - الجهاز الثفري :

فتحة الثفر هي الطريق الوحيد الذي يخرج منها بخار الماء في عملية التفتح ولذلك فهي من أهم العوامل التي تؤثر في معدل .

ويختلف عدد الثغور في الوحدة المربعة باختلاف النباتات ، وطبيعي أنه كلما زاد عدد الثغور زاد معدل التفتح . ويجب ملاحظة أن الأوراق الصغيرة يكون معدل التفتح فيها أعلى منه في الأوراق الكبيرة لنفس النبات ، وذلك يرجع إلى اختواء الوحدة المربعة من الأوراق الصغيرة على عدد أكبر من الثغور لنفس الوحدة في الأوراق الكبيرة . هذا ينص النظر من ارتفاع قيمة التفتح الأدنى في الأوراق الصغيرة

وأوراق النباتات التي تكثر الثغور فيها عن السطح السفلي يكون معدل التفتح فيها أقل تأثراً بالعوامل الجوية منه في الأوراق التي تنودح الثغور فيها على السطحين أو تغلب على السطح العلوي

ويتأثر معدل التفتح بسرعة فتحة الثفر وذلك في مجال معين . فقد وجد أنه يتأثر خلال الأطوار الأولى لحركة فتح الثغور مهما كان التحريك فيها طفيفاً . أما فيما عدا ذلك فلا يكلد معدل التفتح يتغير بتغير فتحة الثفر . ويؤكد من أبحاث Lottfield أن معدل التفتح يزداد تبعاً لازدياد فتحة الثفر حتى يصل إلى نصف فتحة النهائية وبعد ذلك يتأثر معدل التفتح بعوامل أخرى بخلاف فتحة الثفر .

# الباب الثاني

## نفاذية الخلية النباتية

### The Problem of Cell Permeability



سبق أن أوضحنا أن الخلية النباتية مغلفة بغلافين أو غشائين هـ العشاء البلازمي رقيق الحى ، الجدار السيلولوزى غير الحى ، وأن العشاء البلازمى يكون جزءاً من البروتوبلازم وأنه يعتبر غشاءً شبيهاً بمنفذ وأنه يقوم بتنظيم نفاذية الخلية بالنسبة للذائبات المختلفة . أما الجدار الطوى السيلولوزى فهو اعتبر غشاءً منفذاً تماماً بالنسبة للماء والأملاح الذائبة فيه ما لم يدخل فى تركيبه مادة أو مواد تعقل من نفاذيتها أو مظهرها . وقد يحدث أحياناً أن تسلك الجدر الخلوى للخلايا الخارجية فى بعض النباتات مسلكاً لأوعية شبيهة بمنفذ . فقد لاحظ براون Brown (١٩٠٧ - ١٩١٥) هذه الظاهرة فى خلايا حبوب الشعير التى عندما غمرها فى محاليل ملحجية من كبريتات النحاس أو أزوتات الفضة أو غيرها أنها أنفدت الماء ولم تنفذ الأملاح الذائبة به ، وفى إحدى تجاربه لاحظ أنه عندما غمر بذور الشعير لأزرق Blue barley فى محلول حامض الكبريتيك ١ ٪ لم يتغير لون الصبغة الزرقاء الموجودة فى الطبقة الألبرونية حتى بعد تركها فيه بضعة أيام . ولكن عندما حشمت الخلايا الخارجية بواسطة دبوس فإن اللون الأزرق تحول فى الحال إلى اللون الأحمر دليل على أن الحامض قد بعد من الجدار الممرق إلى الطبقة الألبرونية المحتوية على المادة الزرقاء . وعندما غمر البذور فى حامض الكبريتيك ١ ٪ لبضعة أيام ثم غسلها بالماء أنتنت شجاح تمام . ولإثبات أن شخصية شبه النفاذية موجودة فى الجدار الخلوى ، ليست فى الجدار البروتوبلازمى فقد غليت الحبوب فى الماء لمدة ساعة وذلك لقتل الجدار البروتوبلازمى وإبعاد تأثيره على النفاذية فسلكت هذه البذور مسلك البذور الأخرى التى لم تقل

ويظهر أن ظاهرة شبه المعاذية للجدار العلوي شائعة في كثير من الجدر الحلوية للمور لذلك يجب مراعاة ذلك عند دراسة التصادية في الحلية .

أما العشاء البلازمي فيعتبر منفذاً للماء انفاذاً تاماً إلا أن هذه النفاذية تزداد أو تنقص بتغير الظروف . أما فيما يخص باقائه للذائبات فلاحظ أنه يسمح ببعضها بالنفاذ بدرجة كبيرة بينما يمنع أو يعوق إلى حد كبير انفاذ البعض الآخر . وتعتبر درجة التصادية بتغير ظروف البيئة .

وتختلف المواد التي ينفذها العشاء البلازمي من حيث تركيبها الكيماوي والطبيعي اختلافًا كبيراً فبعض هذه المواد بدوب في الماء بسهولة تامة كالسكريات والأملاح غير العضوية والأمحاض العضوية وبعض المواد الملوثة بينما لا يدرب البعض الآخر في الماء كالمواد الدهنية الناتجة من عمليات التحول الغذائي وبعض المواد الملوثة وحيث أن العشاء البلازمي يتكون من مواد متباينة كما قدمنا فمن المعتقد أن المواد التي تقبل الذوبان في الماء تنفذ بسهولة في مركباته التي تمص الماء بينما تنفذ المواد الأخرى في خلال أجرامه شبه الدهنية ( الليسويديّة ) .

و تنقسم المواد انفاذية التي ينفذها الجدار الروتوبلازمي إلى قسمين :

( أ ) مواد دائبة متأينة ( الكتروليتية ) Electrolytes

( ب ) مواد دائبة غير متأينة ( غير الكتروليتية ) Non electrolytes

### نفاذية المواد الكتروليتية :

عندما تداب المواد الكتروليتية في الماء فإنها تأين فيه وتدخل الأيونات المختلفة الحلية باستقلال تام عن بعضها البعض فقد تدخل الأيونات الموجبة لل ملح الواحد مثلا الحلية بينما تبقى الأيونات السالبة كلها أو بعضها خارج الحلية . ولكي يصبح الاتزان الكهربائي صحيحاً فلا بد أن يحمل محل الأيونات التي دخلت الحلية كمية أخرى مساوية لها في الكمية والتنوع ، وهناك احتمالات ثلاث لحدوث هذا الاتزان :  
الاحتمال الأول يكون بتأين جزيئات الماء نفسها إلى أيونات الهيدروجين



وأيونات الاندوكسيل بدرجة يحددها الفرق بين عدد الأيونات الموجبة والسالبة التي تدخل الخلية ويصحب أحدها الأيونات الرائدة إلى داخل الخلية . فإذا كان الأيون المنص من الملح بدرجة أكبر ذو شحنة موجبة فإنه يكون مصحوباً عند دخوله الخلية بأيونات الأيدروكسيل أما إذا كان من النوع السالب الشحنة فإنه يكون مصحوباً بأيونات لايدروجين . ويمكن بناءً على هذه النظرية تعليل تحول بعض المزارع المائية إلى حموضة أو قلوية أثناء نمو النبات بها .

أما الاحتمال الثاني فيكون بتبادل أيونات مكافئة من نفس الشحنة الكهربائية بين الخلية والوسط الخارجي . فقد يحدث أن تمتص الخلية عدداً من أيونات البروتاسيوم نظير خروج عدد مكافئ لها من أيونات الصوديوم .

ومنالك احتمال ثالث يمكن به الخلية من امتصاص الأيونات امتصاصاً غير متساوٍ وذلك مع المحافظة على الاتزان الكهربائي داخل الخلية وفي الوسط الخارجي . فإذا امتصت الخلية أحد الكاتيونات بدرجة رائدة فإن الخلية تنزع من الأحماس العسوية ما يكافئ هذه الكاتيونات الرائدة المنصة فتبقى أيونات الأحماض العضوية داخل الخلية لتوازن الكاتيونات المنصة بينما تفرج أيونات الأيدروجين (  $H^+$  ) إلى الوسط الخارجي لتوازن الأنيونات الرائدة التي تركت في الخارج ، أما إذا امتصت الخلية كمية رائدة من الأيونات فإنه يحتج من الأحماض العضوية ما يساوي الكمية الرائدة المنصة من هذه الأنيونات ، وفي هذه الحالة يفرج من الخلية كمية من أيونات البيكربونات (  $HCO_3^-$  ) الذي يتبع من عملية التنفس لكي يحقق الاتزان الكهربائي في الوسط الخارجي .

وإن ظاهرة عدم التساوي في امتصاص أيونات الملح الواحد من الظواهر المألوفة فقد لاحظ Richland ( ١٩٠٩ ) أن شرايح الجرر والسنجر امتصت من الكاتيونات عندما عديت عناصرها بحاليل كلورور الكالسيوم والصوديوم والبروتاسيوم ، بينما امتصت شرايح جنجر الجرر من الأيونات أكثر مما امتصته من الكاتيونات من محلول أوزونات البروتاسيوم .

ولاحظت Redfern ( ١٩٢٢ ) أن نباتات الذرة والبسلة عندما عذيت بمحلول من كلوريد الكالسيوم امتصت من أيونات الكالسيوم أكثر مما امتصت من أيونات الكلور ، وأن أيونات الكالسيوم الممتصة قد عوصت بجره مع أيونات من المغنسيوم واليوتاسيوم من أنسجة النبات إلى البيئة الخارجية .

وقد أوضحت التجارب التي أجريت على شرائح الجزر أن عملية امتصاص الأيونات المختلفة بدرجة غير متساوية إما ترجع إلى ظاهرة الحياة في الخلية وفي تجربة أحصرت شرائح حية وشرائح مقتولة من البنجر وعممت - كل منها على حدة - في محلول من كلوريد المغنسيوم فامتصت الشرائح الحية من الأيونات أكثر مما امتصت من الكاتيونات . أما الشرائح المقتولة فقد امتصت الأيونات والكاتيونات بدرجة متساوية .

### امتصاص النبات للعناصر

يتمسك النبات بالعناصر الغذائية على صورة أملاح ذائبة في ماء التربة بواسطة مناطق الامتصاص من مجموعته الجذري . وهذه العناصر الغذائية إما أن تضاف إلى التربة على صورة أسمدة غير عضوية كالتترات والكبريتات والفوسفات أو تنتج من تحلل بعض النفايات النباتية أو الحيوانية التي توجد طافية في التربة . وقد تنتج أيضاً نتيجة لتحلل الأسمدة العضوية المضافة إلى التربة التي هي في الواقع بقايا حيوانية أو نباتية . هذا وقد يفرز بعض العناصر الغذائية نتيجة نشاط بعض أنواع البكتيريا والفطريات فيمتصها النبات كما سيأتى الكلام عليه في حينه .

ولست عملية امتصاص العناصر من العمليات البسيطة بل هي عملية معقدة غاية التنفيذ واحد وضعت لذلك عدة نظريات ومع ذلك لا يمكن اعتبار إحدى هذه النظريات كافياً لتفسير كيفية امتصاص العناصر وعلى ذلك فيجب اعتبار جميع هذه النظريات والعروض مكتملة لبعضها .

ويقول بعض الباحثين بأن الأيونات الممتصة قد تدخل في تفاعل كيميائي بمجرد

دسولف الحدية ولذلك يستمر دسولفا في التحلية رغم انخفاض تركيزها في الخارج .

ويمكن تجربة بسيطة لإظهار عملية التحول الكيماوى بأن يحضر كيس مغموس من قشاة يسمح بنفاذ الهوائى الصغيرة ولا يسمح بنفاذ الهوائى العروية الكبيرة كقشاة ورق السيلوفان ويملا الكيس بمحلول مخفف من حامض التيليك ويوضع الكيس في وعاء يحتوى على محلول مخفف من كلورور الحديدك فنلاحظ أن جزيئات كلورور الحديدك تأخذ في الانتشار إلى داخل الكيس ولكنها تتحد بمجرد دسولفا محامض التيليك مكونة تنبات الحديد وهي مادة عروية لا يسمح لها القشاة بالنفاذ فتظل داخل الكيس وعلى ذلك تستهلك كل جزيئات كلورور الحديدك المنتشرة أولاً بأول في هذا الاتحاد الكيماوى ويكون تركيزها دائماً منخفضاً داخل الكيس عنه في خارجه ، وعلى ذلك يستمر انتشارها وبأخذ تركيز كلورور الحديدك في القلة في الوعاء الخارجى إلى أن يصبح تركيزه صغيراً ويختفى تماماً من المحلول

أما إذا استبدل محلول حامض التيليك داخل الكيس بالماء المنقطر بأن جزيئات كلورور الحديدك تأخذ في الانتشار إلى أن يتساوى تركيزها في الداخل وفي الخارج طبقاً لقوانين الانتشار

وتفسر لنا نظرية التحول الكيماوى كيف يتنقل السكر من أماكن صنعته بالأورق إلى أماكن ادخاره في الثمرات أو الثمار على صورة سقاء وبذلك يظل تركيز السكر منخفضاً في أعضاء الادخار مما يجمع على استمرار انتقاله إليها

ومن نتائج بعض التجارب وجد أن أروتات اليوناسيوم تستمر في التحول إلى الفجوة المعاصرة إلى أن يبلغ تركيزها داخل الفجوة أضعاف تركيزها خارجها ومع ذلك فإنها تستمر في الدخول ويؤخذ من نتائج Hoagland & Davis (١٩٢٣) على طحلب النيتلا *Nitella* أن درجة التوصيل الكهربائى لمحلول لجوتها راد ٢٥ مرة عن درجة التوصيل الكهربائى للماء الذى يعيش فيه الطحلب وذلك يدل أيضاً على انتشار الدائمات وتراكبها داخل الفجوة

كما ظهر من نتائج أبحاث Stiles & Kidd أن تركيز المحلول الخارجى أثر كبير على معدل انتشار دقائقه . ف عندما عُمست شرائح الفجل والبطاطس فى محاليل ذات تركيبات مختلفة فوجد لامتناس بضع حد الاتزان بعد مفعى ١٠ - ٥٠ ساعة وعند بلوغ حالة الاتزان لم يكن التركيب فى الداخل مساوياً له فى الخارج وإنما توقف على درجة تركيز المحلول الخارجى . وفى التركيبات الممعة بضع التركيب فى الداخل عند الاتزان أصغافه فى الخارج . بينما فى المحاليل المركزة كان التركيب فى الداخل أقل منه فى الخارج . وعلى ذلك بينت كانت كمية الأملاح الممتصة معلان من المحاليل المركزة أكبر منها فى المحاليل الممعة فإن نسبة الامتناس ( وهى تساوى نسبة التركيب الداخلى إلى التركيب الخارجى ) فى التركيبات المائية كانت أقل منها فى التركيبات المنحصصة .

#### الاتزان دونان :

ولقد وضع دونان Donnan نظرية الاتزان المعروفة بأزان دونان Donnan equilibrium معسراً بها كيف تنتشر الأيونات من محاليل منحصصة التركيب إلى الفجوة حيث يكون التركيب فيها عالياً بدون أن تدخل فى اتحاد كيمارى إذا وضع غشاء ليفصل بين محلول مادتين أو ملحيتين وكان هذا الغشاء منعداً لدقائق هذه الأملاح ( أموانتها ) فإن هذه الأيونات تنتشر خلال الغشاء إلى أن تحدث حالة اتزان عندها تتساوى تركيبات كل مادة على جانبي الغشاء . أما إذا كانت دقائق المحلول الملقى الخارجى قابلة للتماد خلال الغشاء بينما يكون بعض دقائق المحلول الداخلى قابلة للتماد والأخرى غير قابلة للنفاد خلال الغشاء فإنه عند الاتزان لا تتساوى تركيبات الدقائق المنتشرة على جانبي الغشاء .

فإذا وضع داخل الغشاء محلول من بروتينات الصوديوم وهذه المادة تتأثر إلى كاتيونات الصوديوم الموجبة وأنيونات البروتين السالبة ، فإن أنيونات البروتين لا يمكنها أن تفع خلال الغشاء نظراً لأكبر حجمها فظل فى الداخل . أما كاتيونات الصوديوم فبالرغم من صغر حجمها وقابليتها للتماد إلا أنها تظل داخل الكبس لانجذابها كهربائياً بأنيونات البروتين .

تركيز الأيونات قبل الانتشار					تركيز الأيونات بعد الانتشار				
داخل الكيس		خارج الكيس			داخل الكيس		خارج الكيس		
ص	ر	ص	ر	كل	ص	ر	ص	ر	كل
٥٢٤	٥٢٤	٤٧٦	١٠٠	٥٧٦	١٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠٠
٦٦٦	٦٦٦	١٢٢٢	١٠٠٠	١٢٢٢	١٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠
٩٢	٩٢	٨٠٢	١٠٠٠	١٠٠٨	١٠٠	١٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠

ومن دراسة هذا الجدول يتضح أنه عند الاتزان يكون :

د - عدد الكاتيونات يساوى عدد الأنيونات داخل العشاء ، وكذلك عدد الكاتيونات يساوى عدد الأنيونات خارج العشاء في جميع حالات التركيب الثلاثة .

هـ - عدد الكاتيونات  $\times$  عدد الأنيونات داخل العشاء = عدد الكاتيونات  $\times$  عدد الأنيونات خارج العشاء

وبذلك للأيونات القابلة للانتشار فقط

أى أن :

$$٥٧٦ \text{ ص} + ٤٧٦ \text{ كل} - = ٥٢٤ \text{ ص} + ٥٢٤ \text{ كل} -$$

$$١٢٢٢٩ \text{ ص} + ٢٢٢ \text{ كل} - = ٦٦٦ \text{ ص} + ٦٦٦ \text{ كل} -$$

$$١٠٠٨٩ \text{ ص} + ٨٣ \text{ كل} - = ٩٢ \text{ ص} + ٩٢ \text{ كل} -$$

و - لا يتساوى عدد الأيونات التي من نوع واحد (كاتيونات الصوديوم) داخل العشاء وخارجه عند نقطة الاتزان .

ز - كلما زاد تركيز أيون البروين العبر قابل للانتشار داخل العشاء بالنسبة إلى تركيز الأيونات القابلة للانتشار خارج العشاء كلما قل دخولها حتى يصبح العشاء وكأنه غير متعد لنفاذ كلورور الصوديوم كما هو ظاهر من المثل الثالث.

ولعل هذه النتائج تفسر لنا لماذا تمتنع بعض النباتات عن امتصاص بعض العناصر الموجودة في محلول ماء التربة متى كانت أملاحها تحتوى على كاتيونات مماثلة للكاتيون المتحد بالبروتين داخل الخلية .

أما إذا استبدل محلول كلورور الصوديوم في المثل السابق بمحلول كلورور البوتاسيوم أى أن الكاتيونات لموجودة خارج العشاء تحالف في نوعها الكاتيونات المرتبطة بالبروتين داخل العشاء فإنه عند بلوغ حالة الاتزان لا يختلف الوضع من

حالة استعمال كلورود الصوديوم إلا فيما يخص كمية كلورود البوتاسيوم التي دخلت النشاء .

والجدول الآتي يبين تركيزات الأيونات المنتشرة عن جانبي النشاء عند استعمال كلورود البوتاسيوم بدلا من كلورود الصوديوم .

تركيز الأيونات بعد الانتشار						تركيز الأيونات قبل الانتشار			
خارج الكيس			داخل الكيس			خارج الكيس		داخل الكيس	
كل -	ص +	بو +	كل -	ر -	بو +	كل -	بو +	ر -	ص +
٥٢٤	٤٨	٤٧٦	٤٧٦	١٠٠	٥٢٤	٥٢	١٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠
٦٦٦	٣٣٣	٣٣٣	٣٣٣	١٠٠٠	٦٦٦	٦٦٦	١٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠
٩١,٧	٨٣,٤	٨,٣	٨,٣	١٠٠٠	٩١,٧	٩١٦,٧	١٠٠	١٠٠	١٠٠٠

ويتضح من هذا الجدول المفاتيح الآتية :

١ — أن ما دخل النشاء من كاتيونات البوتاسيوم أكثر مما دخل من كاتيونات الصوديوم في المثل السابق .

ب — أنه كلما زاد تركيز أيون البروتين داخل النشاء كلما زادت الكمية الداخلة من كاتيونات البوتاسيوم فتصل إلى ٩٢ ٪ من كميته الأصلية قبل الانتشار بينما تحتجز أنيونات الكلور خارج النشاء بدرجة كبيرة . وهذا يفسر لنا مقدرة النباتات على أن تمتص الكاتيونات من التربة بكمية كبيرة متى كانت مغايرة لنوع الكاتيون المرتبط بأيون البروتين داخل الخلية دون التعرض للأيونات المرتبطة للكاتيونات المنتشرة

غير أنه من الملاحظ أن النباتات تمتص الأنيونات والكاتيونات ذلك أن البروتينات لها من طبيعة تركيبها ما يجعلها تسلك مسلك الأحماض إذا وجدت في بيئة قلوية وتسلك مسلك القلويات إذا وجدت في بيئة حامضة . وعلى ذلك فإن جريء

البروتين عندما يتأين في بيئة حامضية فإن أيونه يتشحن بالكهرباء الموجبة . وإذا تأين في وسط قاعدي فإن أيونه يتشحن بالكهرباء السالبة . فإذا كان أيون البروتين في المثل الثاني موجب التكهرب بدلا من أن يكون سالبا فإن أيون الكلور السالب التكهرب هو الذي يدخل بدلا من أيون البوتاسيوم لانهجدايه كهربائياً إلى أيون البروتين الموجب التكهرب .

وظاهر من نظرية دونان أنها تفسر لنا بعض الحقائق المألوفة والتي بيت عليها عملية التسميد وامتداد التربة بالعناصر اللازمة للنباتات للزراعة . فالمحاصيل المختلفة لا تمتص العناصر الغذائية بكميات واحد . فنبات القمح مثلا يحتاج من العناصر غير ما يحتاجه نبات كالهج أو الشعير . ويدخل في تركيب الجدار الخ و توبلازمى للخلية مواد بروتينية ، وقد سبق أن رأينا كيف تميز الشحنة الكهربائية لأيون البروتين قعاً لموضوعة أو قلوية وسط التأين . والجدار البروتونولازى يحلف الفجوة العصارية التي غالباً ما تكون حامضية نتيجة لتراكم نواتج عمليات التحول العدائى ومنها حامض الكرونيك كما أن الجدار البروتونولازى يتصل من سطحه الخارجى مباشرة بالخارجة التي تكون قلوية أو متعادلة بدلالة نسبة إليه . وحيث أن البروتونولازم في حركة دائرية في الخلية النباتية فإن سطحه يتعرض على التعاقب للفجوة الحامضية والوسط الخارجى القلوى . فعندما يلامس الوسط الخارجى فإنه يكون سالب التكهرب فيتحده بالكاتيونات الموجبة ثم يطلق هذه الكاتيونات في الوسط الحامضى في الفجوة عندما يلامسها ويصبح موجب التكهرب ويتحد بالأيونات السالبة وهكذا . ولعل ذلك يفسر لنا تراكم الكاتيونات في الفجوات الخلوية لكثير من النباتات

ويجب ألا نغيب عن أمان ما للبروتونولازم من مقدرة اختيارية في انفاذ المواد تعرف بالانفاذ الاختيارى البروتونولازم Selective permeability هو يعد حلاله العنصر أو الملح الذى يحتاجه النبات في زمن معين بعين النظر عن وجود هذا الملح أو العنصر بسببه مرفعة أو منخفضة في الوسط الخارجى طالما كان النبات في أحياء إليه .



### تفاعلية المواد غير الالكتروليتيّة

نظراً لأن المواد غير الالكتروليتيّة لا تتأثر في محاليلها فإن تفاعليتها تبدو أقلّ تعقيداً من تفاعلية المواد الالكتروليتيّة . وقد أجريت معظم التجارب في هذا الموضوع على خلايا القطر والطحالب والحراريات . وقد كان يقضى فيما مضى أن المواد غير المتأينة تدخل الخلية بمحالتها وبدون حدوث أي تغيير في تركيبها وطبقاً لنظريات الانتشار السليطة أي أنها تنتشر من الوسط الأكثر تركيزاً إلى الوسط الأقل تركيزاً حتى يتساوى تركيزها في داخل الخلية وخارجها .

إلا أن لأبحاث الحديثة التي أجراها « الجوادى » ( ١٩٣٥ ) و « سعيد » ( ١٩٣٧ - ١٩٥٣ ) والخاصة بامتصاص أفراس البنجر للسكريات أظهرت أن امتصاص هذه الأسجة للسكريات حدث بطريقة مشابهة لامتصاصها للمواد الالكتروليتيّة ، وأنه في المحاليل السكرية المخففة امتصت أفراس البنجر السكريات واستمر الامتصاص حتى ردا تركيزها في الداخل عنه في الخارج . وأنه عند حفظ هذه المحاليل السكرية مركبات كيماوية فإن ذلك يؤثر في امتصاص السكريات .

وعمل « سعيد » على الأخذ بالرأى القائل بأن السكريات تحدث لها فسفرة على السطح الخارجى للخلية ، وأن هذا السكر المفسفر يمر في الغشاء البلازمى إلى السيتوبلازم حيث يزول عنه ظاهرة الفسفرة . وهذه المتابعة تذكر أن كثيراً من الباحثين قد أثبت وجود أنزيمات الفسفرة على أسطح خلايا الحيوان والنبات .

### طرق تقدير درجة التفاعلية

استعملت طرق كثيرة لقياس درجة التفاعلية منها :

١ - طريقة مشاهدة التغير الذى يطرأ على الخلية وعلى الوسط الخارجى :

تحدث بعض المواد تغيراً ملحوظاً عند دخولها الخلية ويؤخذ هذا التغير دليلاً على إبعاد الجدار البروتوبلازمى لهذه المادة . ففى عام ١٨٨٦ اخترع Pfeffer درجة

أعداد خلايا بعض النباتات لبعض الأصباغ ووجد أن بعضها مثل أرقي الميثيلين والسفرانين وبرتقالي الميثايل يتصبه النبات من محاليلها المخففة جداً وأن هذه الأصباغ تتركز داخل الحية إما على حالتها الذائبة أو على حالة راسب وعلى ذلك يزداد تركيزها داخل الحية حتى يخرجها بينما لم تحدث بعض الأصباغ الأخرى أى تأثير في الخلية مثل الأيوسين وأحمر الكونغو فاستدل على أن العشاء البروتوبلازمي ينفذ النوع الأول من الأصباغ وأنها بعد نفاذها تتحد مع بعض محتويات الخلية لتكون مركبات أخرى لا ينفذها العشاء . أما الرواسب المتكونة داخل الخلية فتخرج من الخلايا مع مركبات النين .

وإذا اخوى المصير الخلوي على مادة يتمييز لونها بغير الخوصصة أو القوية فإن هذه المادة تعتبر دليلاً على قابلية انفاذ العشاء البروتوبلازمي للأحماض والنيوترات وقد استعمل De Vries ( ١٨٧١ ) على دحون الأمونيا في خلايا جذور البنجر من تحول لون الاشمسيانين ( وهي المادة الملونة للمصير الخلوي بخلايا البنجر ) من اللون الأحمر إلى اللون الأزرق

وإذا احتوت الخلية على مادة من شأنها أن تحدث تفاعلاً تكون نتيجة تكميم راسب داخل الخلية مع ملح معين دل ذلك على قابلية نفاذية هذا الملح إلى داخل خلايا العشاء فتتلا إذا احتوت الخلية على ملح من أملاح الكالسيوم الدائبة فإن نفاذ أملاح الكربونات أو الأكسالات الدائبة إلى داخل الخلية تكون مع ملح الكالسيوم الراسب المتناظر .

و بالمثل يمكن مشاهدة تفاعل بعض الأملاح الخارجية مع الخلية مع الوسط الخارجي وينفس الطريقة سواء بغير اللون أو بأحداث الراسب .

#### ٣ — طريقة أحداث البلزمة :

هذه الطريقة مبنية على حدوث البلزمة بسبب عدم تساري معدل نفاذية كل من المادة الدائبة والمذيب خلال العشاء ، وأن درجة نفاذية الماء أكبر من درجة نفاذية

المادة الذائبة فتحدث البلزمة . ويجب لتجاح هذه الطريقة أن يراعى أن يكون المحلول المستعمل لإحداث البلزمة زائداً للتركيز Hypertonic وأن يكون الملح أو المادة الذائبة في هذا المحلول من النوع القابل للتفاد خلال العشاء بمعدل أقل من قابلية هذا الماء حتى يمكن أن يحدث شفاء للبلزمة Recovery إذا تركت الخلية في نفس المحلول مدة كافية .

فإذا فرضنا أنه سكي تحدث البلزمة في خلايا طحلب الأسبيروجيرا Spirogyra فإنه يجب أن يكون تركيز محلول أزوتات البوتاسيوم ٤ . ٠ أساسى . وأن تركيز ٢ . ٠ أساسى من محلول كلورور الصوديوم كاف أيضاً لإحداث البلزمة ، فإن ذلك يعنى أن الخلية كانت أكثر نفادية بالنسبة لأزوتات البوتاسيوم عنها في حالة كلورور الصوديوم لأنها تحتاج من الأول محلولاً أكثر تركيزاً سكي تحدث البلزمة ، وإذا فرضنا أنه يلزم لشفاء البلزمة أن تبقى الخلية في محلول كلورور الصوديوم مدة ثلاثين دقيقة وفي محلول أزوتات البوتاسيوم خمس عشرة دقيقة فإن ذلك يعنى أيضاً أن الخلية تنعم أزوتات البوتاسيوم بدرجة أكبر .

٣ — طريقة قياس درجة التوصيل الكهربي للأنسجة أو لوسط خارجى .

تزداد قدرة البروتوبلازم على التوصيل الكهربي كلما زادت قدرته على التنفذية ذلك لأن الأيونات كلما زاد تركيزها في المحلول كلما زادت درجة التوصيل الكهربي لهذا المحلول . وتجربى هذه الطريقة بأن يوضع النسيج النباتى في دائرة كهربائية متصل بها جلفانومتر ثم تفصل الدائرة الكهربائية ويقرأ الجلفانومتر وتسجل قراءته ثم يوضع النسيج في محلول المنصر المراد اختبار درجة معادته في العشاء . للبروتوبلازمى ويترك بعض الوقت ثم تعاد قراءة الجلفانومتر . فإذا زادت قراءة الجلفانومتر دل ذلك على قدره البروتوبلازم على إمرار هذا المنصر وبذلك يمكن قياس كمية ما يمد من هذا المنصر خلال العشاء . ويمكن قياس درجة توصيل المحلول الذى يحتوى على المنصر بدلاً من قياس درجة التوصيل الكهربي للنسيج قبل وضع النسيج وبهذه الطريقة

كل العنصر قابلاً للغداج خلال الغشاء البروتوبلازمي فإن الجليمانومتر يقرأ قراءة أقل من القراءة الأولى وهذه العلة تتناسب طردياً مع سرعة احتشاء العنصر من المحلول الخارجى أى مع معدل تفاديه إلى الخلية خلال الغشاء البروتوبلازمي

كذلك ونفس الطريقة يمكن قياس نفاذية الغشاء البروتوبلازمي للعناصر إلى الخارج أى إلى المحلول الخارجى الذى قد يكون ماء مقطر أو فقاس درجة التوصيل الكهربائى للنسج بعد وضع النسج مدة كافية فى الماء أو فقاس درجة التوصيل الكهربائى للماء بعد وضع النسج فيه مدة كافية .

#### ٤ — طريقة التحليل الكماوى للأسجة وللوسط الخارجى :

استخدمت طريقة تحليل العصير الحلوى للتحليل كىماوياً وكذلك التحليل الكماوى للوسط الخارجى كطريقة لتقدير درجة نفاذية الغشاء البروتوبلازمي للعناصر المختلفة

ول هذه الطريقة عيوب خصوصاً إذا اعتمد على تحليل النوات فقط ، أولها أنه لا يمكن الحصول على عينة تمثل العصير الحلوى تمثيلاً صحيحاً بأحدى الطرق المعروفة لاستخلاص العصير الخلوى . وثانها أنه عند تحليل هذه الأسجة أو مستخلصاتها فإنه يدخل فى التحليل - زيادة على محتويات الفجوة - ما تحتوى المسافات البينية من عايل وأملاح تكون قد تراكت فيها بطريق التجمع السطحي وبذا تزداد القيمة الحقيقية لدرجة النفاذية كما أن بعض العناصر قد تتحول بمجرد دخولها إلى الخلية إلى مركبات أخرى يصعب تقديرها وبذلك تكون نتائج التحليل غير حقيقية

#### العوامل التى تؤثر على النفاذية :

##### ١ — درجة الحرارة :

نذل جميع التجارب على أن رفع درجة الحرارة يزيد من قابلية إبعاد الجدار البروتوبلازمي للماء وأن خفضها بسبب العكس . أما بالنسبة إلى تأثير ريمع درجة

الحرارة على درجة نفاذ الدائيات فقد درس Eckerson ( ١٩١٤ ) تأثير درجات الحرارة المختلفة على معدل تعادية الجدار البروتوبلازمي لأزوتات الواناسيوم والجدرل الآتي يبين بعض هذه النتائج

درجات حرارة المثوية			استعملت حلايا
التعادية قلب	التعادية لم تتغير	التعادية زادت	جنور الباتات الآتية
من $40^{\circ}$ إلى $50^{\circ}$ م	من $18^{\circ}$ إلى $24^{\circ}$ م	من $10^{\circ}$ إلى $14^{\circ}$ م	١ - الفجل
		من $24^{\circ}$ إلى $40^{\circ}$ م	
	من $30^{\circ}$ إلى $45^{\circ}$ م	من $10^{\circ}$ إلى $30^{\circ}$ م	٢ - الجدرل الأبيض
من $20^{\circ}$ إلى $40^{\circ}$ م	من $12^{\circ}$ إلى $20^{\circ}$ م		٣ - عباد الشمس
من $35^{\circ}$ إلى $45^{\circ}$ م	من $15^{\circ}$ إلى $35^{\circ}$ م	من $60^{\circ}$ إلى $100^{\circ}$ م	٤ - الصنعة

من هذا الجدول يتضح أن رفع درجة الحرارة يريد من معدل نفاذ المواد الدائية خلال الغشاء البلازمي حتى درجة معينة ( تختلف باختلاف النباتات ) . فإذا زادت درجة الحرارة بعد ذلك من  $40^{\circ}$  م فإن قدرة تحكم الغشاء البلازمي في التعادية تضعف حتى تنعدم تماماً حوالي درجة  $50^{\circ}$  م ويطلق على درجة الحرارة التي يهلك عندها البروتوبلازم بالدرجة المميتة

ويرجع هلاك البروتوبلازم وإطلاق التعادية إلى تأثير درجة الحرارة على البروتوبلازم فتسبب تحمسه تجمعا غير متكفي كما يحدث عند تسخين رطل البيض . ويمكن ملاحظة التطور في التعادية إذا وضعت أقرص من جدرل البنجر المنسولة غسلا جيداً بالماء في ماء مقطر ورفعت درجة حرارتها تدريجياً فنلاحظ أن الماء يأخذ في اللون تدريجياً باللون الأحمر والسبب في ذلك أن العصير الخلوى لجدرل البنجر يحتوي على مادة ملوثة تعرف بالانثوسيانين Anthocyanin وهذه في الأحرار الطبيعية لا تنبعث من الغشاء البلازمي الحلية أما إذا رفعت درجة الحرارة إلى الدرجة المميتة ( وتقع بين  $40^{\circ}$  و  $60^{\circ}$  ) وتختلف باختلاف النباتات ) فإن الصنفه الحمراء تخرج دفقة واحدة وتلون الماء ويستمر خروج الصبغة حتى بعد إعادة الأقرص إلى الماء البارد .

أما إذا برحت أفراس البحر إلى تحت درجة الصفر فإن النفاذية تتأثر كما لو دقت درجة حرارة الأقراس إلى الدرجة المميتة فتقل قدرة تحمك النشاء البلازى في الخلية و مرجع ذلك إلى تغير طبيعة النشاء البروتوبلازى وسكرين الثلج في ميتوبلازم الخلايا فيتمرق الميتوبلازم والنشاء البلازى ولذلك تنساب المادة الملوثة ولا تعود إلى حالتها الطبيعية بعد إعادة درجة حرارة الأقراس إلى الدرجة العادية .

#### ٢ - الضوء :

تدل جميع الأبحاث على أن النفاذية تزداد في الضوء وتقل في الظلام فقد أبان Lepeschkin ( ١٩٠٩ ) أن النفاذية تزداد عند تعريض الوسادة الورقية لأوراق البمرليات للضوء وتقل عند نقلها إلى الظلام وقد تأيدت هذه النتائج بالأبحاث التي قام بها Blackman & Paine ( ١٩١٨ ) فقد لاحظا زيادة نفاذية خلايا بعض النباتات كالصنصاف *Sax. babylonica* زيادة كبيرة عندما عرضت للضوء وأن النفاذية زادت بزيادة شدة الضوء وأوضح Hoagland & Davis ( ١٩٢٣ ) أن خلايا طحلب *Nitzella* امتصت الأملاح الذائبة بدرجة أكبر في الضوء عنها في الظلام وعريت الزيادة في النفاذية إلى أن الضوء كان مصدراً للطاقة في عمية الالتصاص وتختلف تأثيرات أشعة الطيف المختلفة في تأثيرها على النفاذية فالضوء الأحمر وهو أطول أمواج الطيف أقلها تأثيراً على النفاذية بينما تلاحظ أن الطيف البنفسجى وهو أقصر أمواج الطيف أكثرها تأثيراً على النفاذية فزيديما

#### ٣ - المواد السامة والمخدرة .

للرود المخدرة كالأثير والكحول وفورم تأثير كبير على النفاذية . وبدرجة تركيز هذه المواد في بيئة النبات تأثير على معدلها فإذ وجدت تركيزات قليلة فإن نفاذية النشاء البروتوبلازى تقل بدرجة ملحوظة ولكن هذا التأثير يكون عكسياً لأنه عند إبعاد تأثير هذه المواد فإن النفاذية تعود إلى حالتها الطبيعية . وقد وجد أوسترهاوت Osterhout ( ١٩١٣ ) أن نفاذية طحلب *Lemnanea* قد انخفضت عندما وصفت في محلول ١٪ من الأثير .

أما إذا وجدت هذه المواد بتركيزات عالية في بيئة النبات فإن النفاذية تنخفض انخفاضاً مبدئياً في أول الأمر ثم نمتها زيادة كبيرة غير عكسية تؤدي إلى موت الخلايا كما وصفت ذلك تجارب أوسترهاوت (١٩١٣) حينما وضع خلايا طحلب اللامينارييا في محلول أثيرى تركيزه ٣ بز فلاحظ انخفاض النفاذية فيها انخفاضاً مبدئياً أعقبته زيادة كبيرة غير عكسية أدت إلى موت خلايا الطحلب .

ويمزى فساد أنسجة بعض المراكمة أثناء تمريرها كالصمغ والكثيرى إلى تراكم بعض منتجات التحول الغذائى كالاسيتالدهيد داخل خلاياها الأمر الذى يسبب زيادة هاديتها وزيادة غير عكسية قتموت الخلايا وتفسد الثمار . ويؤثر الاسيتالدهيد وغيره من المواد السامة والمخدرة في بعض أطوار السطربلارم فبسبب اذابتة أو سبوتها مما يؤدي إلى اتلاف حوصص الغشاء البروتوبلازمى ،

#### ٤ — المواد الذائقة في بيئة النبات :

من المعروف أن محلول الملح الواحد له تأثير سام على النبات ، غير أن هذا التأثير قد يخف أثره أو يلاشى إذا ما خلط هذا المحلول بملح آخر مختلف التكافؤ . وتعرف ظاهرة ابطال أحد الأملاح التأثير السام للملح الآخر بظاهرة التضاد Antagonism وقد لاحظ Osterhout عندما أجرى تجاربه على طحلب اللامينارييا أنه عند غمس خلايا الطحلب في محلول ملحي يحتوى كاتيونات أحد العناصر أحادية التكافؤ مثل الصوديوم أو البوتاسيوم أو الأمونيوم ازدادت هاديتها الغشاء البروتوبلازمى وزيادة واضحة مستمرة أدت إلى موت خلايا الطحلب في آخر الأمر . هذا مع ملاحظة تساوى تركيز الملح المستعمل مع تركيز أملاح ماء البحر الذى يعيش فيه الطحلب مميشة طبيعياً .

وعندما غمست خلايا الطحلب في محلول يحوى على أحد العناصر ثنائية أو ثلاثية التكافؤ كالسيوم والباريوم والمنغنسيوم والحديد والالومنيوم فإن النفاذية تأثرت أيضاً بالزيادة .

أما إذا غمس الطحلب في محلول يحتوى على خليط من ملح أحدهما يحوى على كاتيون أحادى الكافز (كالصوديوم) ويحتوى الثانى على كاتيون ثنائى التكافز (كالسيوم) فإن النفاذية لا تكاد تتأثر، ويظهر أن كاتيونات الكالسيوم قد أبطلت بطريقة ما تأثير كاتيونات الصوديوم على النفاذية وبذلك لم تتأثر النفاذية بأحدهما وهذا ما يعرف بالتضاد.

أما إذا استعمل ملح كاتيونات أحدهما أحادية التكافز وكاتيونات الآخر ثلاثية التكافز، كانت ظاهرة التضاد أكثر وضوحاً أى أنه كلما بعدت الكاتيونات عن بعضها في التكافز كلما ظهر التضاد بدرجة أوضح.

وقد استخدم أومستروموت في تجاربه على التضاد طريقة التوصيل الكهربائى للأسجة النباتية المختبرة. فقد لاحظ أن الأسجة الحية السليمة تقاوم مرور التيار الكهربائى في خلاياها مقاومة كبيرة. أما الخلايا الميتة فإن التيار الكهربائى يمر بها بمقاومة قليلة جداً فاستخدم هذه الطريقة لكي يظهر مدى تأثير الخلايا وحيويتها بمحلول الأملاح المختلفة، فإذا تأثرت الخلايا وأصابها الضرر فإن مقاومتها لمرور التيار الكهربائى تقل وهذه القلة تتناسب مع مبلغ الضرر الذى لحق بالخلايا. فعندما قيس درجة مقاومة أقراص الطحلب للتيار الكهربائى وهو معمور في ماء البحر (وهو ينتمى الطحلبية المختبرية على كثير من الأملاح البذائية التى يضاد بعضها البعض) كانت درجة المقاومة كبيرة رد ذلك عن حيوية الخلايا. أما عند نقلها إلى محلول ملحي سوى الأزموزية مع ماء البحر من كلوريد الصوديوم فإن مقاومة الأقراص لمرور التيار الكهربائى قلت. أى أن درجة توصيلها للتيار الكهربائى زادت ودل ذلك على أن درجة التماذيه قد زادت وأن الأسجة قد لحقها الضرر. وحدث نفس الشيء عندما أحرقت التجربة على محلول ملحي سوى الأزموزية من كلوريد الكالسيوم. أما عندما وضعت الأقراص في محلول ملحي مكون من خليط من كلوريد الصوديوم وكلوريد الكالسيوم فإن درجة التوصيل الكهربائى لم تتغير كثيراً عنها في حالة استعمال ماء البحر.



ويطلق على محلول ماء البحر والمحاليل المشابهة التي تحتوي على أملاح عديدة مختلفة التكافؤ بالمحاليل المتزنة *Balanced solutions* ومن أمثلتها محاليل المزارع المائية كمزرعة نوب *Knop* وغيرها وكذلك ماء التربة . وفي هذه المحاليل توجد الأيونات المختلفة في حالة اتزان فيسيولوجي ويكون نتيجة هذا الاتزان أن تحتفظ خلايا الجنور بنفاذيتها الطبيعية

#### ٥ - الأس الأيدروجيني

قدما أن المشاء البروتوبلازمي ذو طبيعة عمرية وأن دقائقه المنتشرة تحمل شحنات كهربائية كلها من نوع واحد فتجذبها متنافرة وتظل منتشرة في وسط الإقتار . فإذا تغير الأس الأيدروجيني في الأطوار المجاورة للمشاء البروتوبلازمي كالماء الملل الجدر الخلايا أو المحوة المصارية نتيجة لما يحدث داخل الخلية من عمليات التحول والذائذ فإن ذلك يؤثر على درجة نفاذية المشاء تأثيراً واضحاً .



# البياض

## تغذية النبات Plant Nutrition

—•••••—

إد أخرى عضو ياتي من جميع مركباته الكربونية والازوتية تأكيد على ثدي  
أكسيد الكربون وأكاسيد الأذوت واما، ويتبقى دائماً الرماء الذي يتكون من  
العناصر المعدنية وتعتبر كمية الرماء الناتجة من الاحتراق في أعضاء النبات المختلفة  
تحتوي النور مثلاً حوالي ٣٪ من الرماء أما الجذور والسيقان فتتأوح نسبة  
الرماء فيها بين ٤ - ٥٪ بينما تحتوي الأوراق من ١٠ - ١٥٪ كما تختلف  
نسبة الرماء في الأعضاء المختلفة على درجة خصوبة التربة والعوامل الجوية فترداد في  
التربة الفنية بالعناصر المعدنية كما يساعد الهواء الجاف على زياده محتوى أعضاء النبات  
من الرماء .

ونحصل النباتات الخضر على ما يلزمها من عنصر الكربون وبعض الأكسجين  
من الهواء الجوي بينما تمتص العناصر الأخرى مذابة في ماء التربة .

وقد عى الباحثون القدماء بدراسة العناصر التي يتطلبها النبات كميات كبيرة  
خصوصاً الأذوت والبوتاسيوم والفوسفور والكالسيوم والمغنيسيوم  
والحديد . وقد اعتبرت هذه العناصر أساسية في نمو النبات . أما العناصر الأخرى  
التي وجدت في أعضاء النبات المختلفة فقد اعتبرت حيثل أنها غير ضرورية لنمو وأنها  
توجد بطريق الصدفة . وقد دلت الأبحاث الحديثة على أهمية بعضها ولو أن النبات  
لا يستنفذ منها إلا كميات ضئيلة جداً .

ومنذ عام ١٨٦٥ استعمل نوب Knop وفيه الخورعة المائية لإختبار أهمية  
العناصر المختلفة في تغذية النبات ووجد أن هناك عشرة عناصر أساسية لنمو النبات هي :

الكربون والإيدروجين ولا أكسجين والاروت والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم والكبريت والحديد .

والآتي تركيب محلول نوب الذي لا يزال يستعمل في المزارع المائية حتى الآن :

أزوتات كالسيوم	٠,٨ جم
أزوتات بوتاسيوم	٠,٢
فوسفات بوتاسيوم	٠,٢
كبريتات مغنسيوم	٠,٢
فوسفات حديد	آثار
تذاب هذه الكمية في لتر ماء مقطر .	

ويلاحظ أن هذا المحلول يحتوى على سعة عناصر فقط من السابق ذكرها أما الكربون فيتمتصه النبات وبعض الأكسجين من الهواء الجوى كما أوضحنا ويحصل على الإيدروجين والجزء الأكبر من الأكسجين من جريان الماء المنصهر من التربة.

وهذا تركيب أحد المحاليل الغذائية الحديثة التي أسعها Gregory and Baptiste

( ١٩٣٦ ) .

هرسات الصوديوم أحادية الإيدروجين	٠,٨٤ جم
أزوتات الصوديوم	٣,٠٣
كبريتات البوتاسيوم	٠,٦٢
كلورور الكالسيوم	٠,٠٦٢
كبريتات المغنسيوم المائية	٠,٤٢

ويستعمل هذا التركيب في عدة النباتات المنزوعة في مزرعة رملية وسكنى هذه الكمية ثمانية نباتات منزوعة في أصيص يحتوى على ١٠ أرطال ( انجليزية ) من الرمن بعد إذابتها في الماء وإضافة آثار من كلوريد الحديدية وكبريتات المنجيز . ويلاحظ عدم إضافة كل هذه الكمية مرة واحدة وإلا سبب ذلك هلاك النباتات

المزروع حصراً في طور الإنبات، بل يجب أن تقسم على دفتين أو ثلاثة حسب نوع النبات المزروع وخطة التجربة .

وتنقسم العناصر حسب أهميتها في حياة النبات إلى قسمين :

القسم الأول : العناصر الضرورية Essential elements

القسم الثاني : العناصر غير الضرورية Non-essential elements

**العناصر الضرورية Essential elements**

وقد سميت هذه العناصر بالعناصر الضرورية نظراً لأن غياب أحدها يسبب نقصاً في نمو النبات وقد تظهر على النبات أعراض نقصه وقد يؤدي هذا النقص إلى عدم اشكال النبات لدورة حياته . وكل عنصر من هذه العناصر يقوم بنوع خاص في حياة النبات ولا يمكن أن يعوض فقده عنصراً آخر .

وقد قسمت العناصر الضرورية إلى قسمين

١ - عناصر يحتاجها النبات بكميات كبيرة وتسمى بالعناصر الكبرى Major elements وهي العناصر العشرة التي سبق ذكرها .

٢ - عناصر يحتاجها النبات بكميات ضئيلة وتسمى بالعناصر الصغرى Trace elements مما المنجنيز والبورون والنحاس والزنك والمولبدنيم . .

ولقد بأحر الكشف عن أهمية هذه العناصر الصغرى لأن الأبحاث التي كانت تشتمل في إمداد النباتات بالعناصر الكبرى لم تكن كافية تماماً ومن المحتمل أنها كانت تحتوي على شوائب من العناصر الصغرى مما لم يلفت النظر إلى أهميتها كما أن الماء الذي استعمل في هذه التجارب لم يكن هياً وربما احتوى على آثار من هذه العناصر . كذلك الأوعية التي استخدمت لم يراع في اختيارها أن تكون ملاء السطح وغير متصلة بما دما إلى تسرب بعض العناصر الداخلة في تركيبها إلى محلول المزرعة . وقد أمكن تلافى هذا النقص في التجارب الحديثة ولذلك ظهرت أهمية هذه العناصر

الصغرى

### العناصر غير الضرورية Non-essential elements

ومن أمثلتها الكلور والصوديوم والبوتاسيوم والأكسجين والنيتروجين وقد اعتبرت أنها غير ضرورية لأنه لم يثبت حتى الآن على الأقل أهميتها للنبات ولو أنها توجد في رماده .

### المزارع الصناعية Artificial cultures

تستعمل المزارع الصناعية لإيجاد أهمية عنصر معين في نمو النبات والمزارع الصناعية التي تستعمل هي المزرعة المائية ، والمزرعة الرملية .

### المزرعة المائية Water culture

وتمتاز هذه المزارع بأن الجذور لا تحيطها أجواء صلبة بل تنمو في وسط مائي تتوفر فيه جميع الأملاح المعدنية اللازمة كما تتمتع أيضاً بسهولة إجرائها وإمكان التحكم في كمية ووع العنصر المضاف. ومن مزاياها أنه يمكن الحصول على المجموع الجذري سليماً كما يمكن مراقبة نموه

ويلزم لنجاح مجارب المزرعة المائية أن يكون الماء المستعمل نقياً تماماً وأن تكون الأملاح على درجة عالية من النقاء. وأن تكون الأوعية المستعملة نظيفة وغير مسامية والأفضل أن تكون من الزجاج الجيد حتى لا تتداخل هذه العوامل في نتيجة التجارب ،

ولإجراء التجربة محصور محلولان أحدهما كامل للعنصر الضرورية والآخر ينقصه العنصر المراد اختياره . ويوضع كل نوع من هذه المحاليل في أوعية خاصة عليها علامات مميزة ثم تثبت البذور في الرمل النقي أو شارة الخشب أو ورق الرشيق . وعند تمام نموها تنقل باحتراس وتثبت في أوعية هذه الأوعية بحيث يتدل الجذور في المحلول . وقد تصنع هذه الأوعية من الخشب المثقب أو الفلين المعطى بالشمع وعند بلوغ المجموع الخضري درجة معينة من النمو فإنه يستحسن أن توصل له تغذية ليسن النبات في وضعه الأصلي .

هذا ويجب ملاحظة تحرير تيار هوائى فى ماء المزرعة على شكل فقاعات صغيرة  
جاذبة كما يجب تغيير محلول المزرعة من حين لآخر كلما اقصى الامر للمحافظة على  
التوازن المحلول .

#### المزرعة الرملية Sand culture

يستعمل الرمل فى هذه المزرعة بدلا من الماء ولا بد أن يكون الرمل نظيفاً  
حالياً من العناصر الغذائية وأن يكون ذا درجة من النعومة المناسبة تسمح بالتهوية  
الجيدة والاحتفاظ بالماء .

وفى هذه المزارع لا تنبت البذور فى الخارج بل توضع فى المزرعة الرملية مباشرة  
وتزود المزرعة بالمحاليل الغذائية المناسبة بين حين وآخر ويضاف الماء كلما انقضى  
الامر ، ويراعى فى تحضير المحاليل الغذائية ما دوى فى المزرعة المائية .

ومن مميزات هذه المزرعة أن الجذور تنمو فى وسط مشابه إلى حد كبير الوسط  
الطبيعى للنبات . أما عيوب هذه المزرعة فهو عدم إمكان الحصول على المجموع  
الجذرى سليماً تماماً كما لا يمكن مراقبه نمو الجذور بخلاف الامر فى المزرعة المائية .  
ولتحضير المحاليل الغذائية فى المزرعتين السابقتين يجب أن يراعى أن تحتوى  
المزرعة على جميع العناصر الكبرى والصغرى التى سبق ذكرها .

ويراعى عند إضافة العناصر الصغرى ألا يتعدى تركيز العنصر من ٠.١ - ٠.٥  
جزء من المليون بينما تصاف العناصر الكبرى بنسبة تتراوح بين ٥٠ - ١٠٠٠ جزء  
من المليون .

ويتراوح الضغط الأزموزى للمحاليل الغذائية المناسبة بين ٠.٥ - ١ ضغط جوى

#### أهمية العناصر المختلفة فى تغذية النبات :

قد تدخل العناصر الممتصة مباشرة فى تكوين بروتين بلازم الخلية وجدارها وقد  
تتراكم بصورة أيونات حرة فى السيتوبلازم الخلية . ويؤدى تراكمها إلى رفع غيصة  
الضغط الأزموزى للخلية . وقد عنى الباحثون عناية خاصة بدراسة أهمية العناصر فى  
تغذية النبات والهور الذى تقوم به فى حياته . .

### العناصر الكبرى : Major elements

#### الكربون الهيدروجين والأكسجين :

تدخل هذه العناصر في تركيب أغلب المركبات العضوية في النبات كالبروتينات والكربوهيدرات والمواد الدهنية والمواد الحمضية والكمولات وغيرها . ويأخذ النبات ما يلزمه من الكربون على صورة ثنائي أكسيد الكربون من الهواء الجوي الذي يوجد فيه بتركيز ٠.٣ ٪ أما الهيدروجين والجزء الأكبر من الأكسجين اللازم له فيأخذه على صورة جزيء الماء المنحصر من التربة . ويأخذ القليل من الأكسجين الجوي ويستعمله في عملية التنفس .

#### الأزوت

يدخل هذا العنصر في تكوين الأحماض الأمينية والبروتينات وهي أهم مكونات البروتوبلازم وكذلك يدخل في تركيب جزيء الكلوروفيل . وقد يتحد مع الكبريت ليدخل في تكوين البروتينات ومع الفسفور ليكون الحامض النووي . والبروتينات النووية . ويكون الأزوت من ١ - ١٠ ٪ من الوزن الجاف للنبات . ويأخذ النبات الأزوت اللازم له من التربة على صورة أمونيوم أو نترات أو نترات نضاف إليها على صورة أسمدة . والنباتات القولية القادرة على الاستفادة من الأزوت الجوي عن طريق البكتريا العقدية التي تعيش على جذورها وتمتد النباتات بالأزوت اللازم لها كما أن هناك أنواعاً من البكتريا التي تعيش في التربة يمكنها أن تثبت الأزوت الجوي في التربة مثل بكتريا الأزوتوباكتر

ويؤدي نقص هذا العنصر في النبات إلى ظهور أعراض خاصة . فقد لاحظ Gregory and Richards ( ١٩٢٩ ) انخفاض معدل التفرع في نباتات الشعير التي ينقصها الأزوت كما يتأخر موعد ظهور الأزوراق ويصغر حجمها ويصير لونها أخضرًا فاتحاً ويمن تحتها ما لذائي عن أوراق النباتات المسعدة تسيداً كاملاً . وقد أوضح هذا الباحث أن نقص هذا العنصر يؤدي إلى نقص معدل عملية البناء والتمثيل

وتكوين البروتين ر بقل نشاط المناطق المرستمية مما يؤدي إلى زيادة المحتوى للسكريات في النباتات . ويؤخذ من نتائج أبحاث Gregory & Baptiste ( ١٩٢٦ ) و سيد وينا ( ١٩٥٠ ) أن محتوى الأوراق للسكرور يزداد زيادة واضحة بينما لم يتغير محتوى الأوراق للسكريات المختزلة في نباتات الصنوبر ناقصة الأروت . وتأخذ أوراق النباتات التي تعاني نقصاً في الأروت في الإصفرار من أسهل إلى أصح ذلك لأن الأروت ينقل إلى مناطق الضغط العليا في النبات فتحرم منها الأوراق السفلى التي تبدأ في الاصفرار .

#### البوتاسيوم :

لا يدخل هذا العنصر في تكوين المواد العنصرية في النباتات ومع ذلك فإنه يلعب دوراً هاماً في عمليات البناء البروتيني ولذلك فإنه يكثر في مناطق النشاط المرستمي ويوجد على حالة ذائبة في العصير الخلوي مما يؤدي إلى رفع قيمة الضغط الأزموزي للخلايا فتزداد قوه امتصاصها للماء

ويؤدي نقص هذا العنصر إلى تلون الأوراق بلون أصفر فاتح مع ازدياد محتواها للماء وتموت الأوراق سريعاً وبمجرد تفحصها وهذا يحدث مادة إذا كمل المحلول العذائي يحتوي على نسبة عالية من الصوديوم وعلى كمية من الكالسيوم تكاد تسد حاجة النبات . أما في المحاليل الغذائية التي يكون فيها الكالسيوم بكمية أكبر مما يحتاجه النبات وكمية متبلة نسبياً من الصوديوم فإن أعراض نقص البوتاسيوم الحقيقية لا تظهر على النبات لأن جذوره تحت هذه الظروف والماء يبقى ذكرها تعجز عن امتصاص حاجتها من العناصر الموجودة في التربة وينتج عن ذلك ظهور أعراض نقص المغنسيوم التي تغطي تحتها أعراض نقص البوتاسيوم الحقيقية .

وقد أوضح Gregory and Richards أن هذا العنصر عامل مهم في امتصاص (ك٢) من الجو وهذا هو السبب في انخفاض معدل عملية التمثيل الكربوني في النباتات ناقصة البوتاسيوم . ويظهر أن دوره في عملية التمثيل الكربوني هو دور



العامل المساعد . وقد أوضح Wiltie ( ١٩٣٦ ) أن النشاء يتراكم في النباتات ناقصة البوتاسيوم لأن نقصه يسبب تعطل أنزيم الاميليز فلا يتحلل النشاء إلى سكريات . وقد أجمعت البحوث الحديثة على أهمية البوتاسيوم في فسفرة السكر في خلايا النبات وهي الخطوة الأولى الأساسية في جميع عمليات التحولات الغذائية وتظهر أعراض نقصه في الأوراق المسنة أولاً وتنتشر تدريجياً إلى الأوراق العليا لأن أيون البوتاسيوم يتنقل دائماً إلى مناطق النشاط العليا في حالة نقصه .

#### الفوسفور :

يدخل هذا العنصر في تركيب كثير من المواد العضوية التي تدخل في تكوين البروتينات والبروتينات النووية والادنوسين ثلاثي الفوسفات واليبيدات .. الخ كما يوجد أيون الفوسفور بحالة حرة في الخلية .

وأعراض نقص هذا العنصر عند تلون الأوراق بلون أحمر داكن واحتوائها على كمية كبيرة من صبغة الاثوسيانيين وتموت الأوراق مبكراً ويتعطل نمو الساق تعطلاً كبيراً . ويؤدي نقص الفوسفور إلى انخفاض معدل عميق التمثيل والتنفس كما يقل النشاط المسمي والبناء البروتيني ، ولا يتغير المحتوى السكري في النباتات ناقصة الفوسفور عنه في البساتين كاملة التسميد ولكن نسبة السكر إلى السكريات المخزنة تقل عند نقص الفوسفور كما ظهر من بحارب Gregory & Baptiste ( ١٩٣٦ ) وسعيد ندا ( ١٩٥٠ ) وقد أوضح الأخيران ( ١٩٤٩ ) أهمية الفوسفور في نشاط أنزيم الانفرير فظهرت نتائج أبحاثهما أنه عند تغذية أوراق نبات الشعير ناقصة الفوسفور بمحلول السكر لم يتمكن أنزيم الانفرير من تحليل هذا السكر وامتصاص نواتج تحطه لضعف نشاط الانزيم في غياب الفوسفور . أما عند إضافة الفوسفات إلى المحلول الغذائي السكري فإن الأنزيم استعاد قدرته التحليلية فقام تحليل السكر في المحلول الغذائي وامتصت الأوراق نواتج التحليل .

#### الكالسيوم :

لهذا العنصر أهمية خاصة في جميع النباتات الخضراء . فهو علاوة على فائدته في إبطال

ضرر العناصر أحادية التكافؤ كالصوديوم والبروتاسيوم بعملية التصادم ، فإنه يقوم بمادة الأحاسن العنصرية الصارة بالنبات مثل حامض الأكساليك الحمى ينتج من عمليات التحول الغضائى . وتضاد الكلسيوم مع مادة البكتين مكوناً بكتات الكلسيوم فى الصبيحة الوسطية بين الخلايا . وقد أشار كثير من الباحثين إلى دخوله فى تركيب بروتولازم الخلية . وتختلف حساسية النبات لهذا العنصر ، فالبقوليات والبنجر والكرب تظهر عليها أعراض نقصه بسرعة نظراً لاحتياجها الكثير منه .

ونظراً لأن هذا العنصر قليل الحركة فى النبات فإن أعراض نقصه تبدأ فى الظهور على الأوراق الحديثة فى القمة النامية فتبدو حوافها غير منتظمة التكوين وتظهر عليها أشربة رفيعة صفراء وقد تثبّع يثبّع بنية .

#### الكبريت

يتمس النباتات هذا العنصر على صورة أيون الكبريتات ويبقى الكثير منه فى حالة أيونية فى الفجوة ويدخل الباقي منه فى تركيب الكربوهيدرات والمواد الطيارة . وتعتبر نباتات العائلة السببية كالنجيل والكرب والقرنيط والجرذل غنية بهذا العنصر . ويبدو أن هذا العنصر ضرورى لتكوين جزيء الكلوروفيل فى النبات ولأنه لا يدخل فى تركيبه كما أنه ضرورى لتكوين العقد البكتيرية .

ويسبب نقص هذا العنصر خفض المحتوى البروتينى للنبات لأنه يدخل فى تكوين الحامض الأميى " سيستين " Cystine ويصف نمو المجموع الخضري وتصف الأوراق وتثبّع يثبّع حراء .

ونظراً لأن هذا العنصر قابل للاختزال فإن أعراض نقصه فى النباتات تظهر فى الأوراق السفلى أولاً ثم تنتشر إلى أعلا .

#### المغنسيوم

يدخل هذا العنصر فى تكوين جزيء الكلوروفيل ويحتاج النبات منه كميات قليلة . ويحتاج بعض الأنزيمات لعنصر المغنسيوم لتفعيلها كإنزيم الفوسفاتيز ويبدو

أن هذا العنصر أهمية خاصة في امتصاص السموم . فقد أظهرت التجارب أنه زيادة عنصر المنسيوم في التربة يزداد محتوى النبات من الفوسفور .  
وأعراض نقص هذا العنصر هو اصفرار الأوراق لعجز النبات عن تكوين المادة الخضراء وتظهر هذه الأعراض متدئة بالأوراق السفلى ثم الأوراق التي تلوها لأن هذا العنصر قابل للاتصال في النبات .  
الحديد :

يحتاج النبات إلى كميات ضئيلة من هذا العنصر ومع ذلك له أهمية كبيرة في تكوين مادة الكلوروفيل ولأنه لا يدخل في تركيبها ، وتظهر على النباتات القليلة في هذا العنصر أعراض الإصفرار Chlorosis ويدخل الحديد في تركيب أنزيمات أكسيد ومن هنا تصبح أهميته في عمليات الأكسدة التي تحدث في خلايا النبات .

ونظراً لأن هذا العنصر غير قابل للحرك في النبات ، فإن نقصه لا يؤدي إلى تحركه إلى مناطق النشاط الطرفية وعلى ذلك فإن القمم النامية وما تحمل من أوراق حديثة تكون هي أول ما يظهر عليها أعراض نقصه فيصفر لونها وقد تبدو حاجية اللون ثم لا تلبث أن تتجمع ببقع بنية وتتحرق في آخر الأمر بينما تظل الأوراق السفلى خضراء .  
وعما استرعى أنظار الباحثين أحياء الأوراق التي ظهرت عليها أعراض نقص الحديد ، على كية منه تكاد تساوى كية في الأوراق الخضراء . وقد فسرت هذه الظاهرة بأن الحديد يوجد في أوراق النباتات على صورتين .

( أ ) الحديد النشط وهو الحديد الذي يوجد في الأوراق وله علاقة مباشرة بتكوين المادة الخضراء وتزداد كية بزيادة المادة الخضراء .

( ب ) الحديد غير النشط وهذا النوع ليس له علاقة بتكوين المادة الخضراء .  
وعلى ذلك فإن نسبة الحديد غير النشط إلى الحديد النشط تكون هي المالة في الأوراق المصابة بالاصفرار بينما ينعكس الوضع بالنسبة للأوراق الخضراء .  
من ذلك رى أن الحديد قد يكون متورداً في الأوراق ومع ذلك تظهر عليها أعراض نقصه مع توفره في التربة

ولعل السبب في وجود الحديد غير النشط في الأوراق هو احتوائها على تركيزات عالية من الزنك والرصاص والمنجنيز والكالسيوم التي تعمل على تحويل الحديد النشط المحتص إلى حديد غير نشط تظهر أعراض نقصه على النبات .

#### العناصر الصغرى Trace elements

##### البورون :

تحتاج النباتات إلى كمية ضئيلة من هذا العنصر تضاف كأجزاء من المليون إلى مزارع التجارب وقد وجد أن الكيوي جرام من حبوب الشعير الجافة تحتوي على ٢ مليجرام منه ، بينما يحتوي الكيلوجرام من الطماطم على ١٩١ مليجرام .

وأعراض نقص هذا العنصر هو تشوه الأطراف النامية واستمرارها كما يسبب نقصه شقق السيقان وترتفع درجة حوضة الخلية فتشل عملية التحول الغذائي ويحلل بروتو بلازم الخلية تدريجياً حتى يموت .

##### المنجنيز

يوجد في جميع أجزاء النبات خصوصاً قصرات البذور . ويقوم بدور العامل المساعد في عمليات التأكسد والاحترار التي تحدث داخل النبات . ويظهر أن هناك علاقة بين عنصرى الحديد والمنجنيز تظهر من تعطن إنتاج المادة الخضراء عند نقصه فتصفر الأوراق ويهبط محتواها الكربوهيدراتي وتسود الأوراق حديثة التكوين ثم يموت النبات جسده متدنياً بالقيمة النامية .

##### النحاس :

لم يعرف على وجه التحديد الدور الذي يقوم به هذا العنصر في النبات إلا أنه ثبت وجوده في المرء كز النعالة لبعض أنزيمات التأكسد ويعمل على تنشيطها وهو يوجد في جميع أجزاء النبات وخاصة في البذور .

ومن أعراض نقصه في أشجار الموالح والكثيرى احتراق حواف الأوراق وموت النعصم النامية .

### الزئك والمولبديم :

تنت بصفة قاطنة أهمية هذين العنصرين في تغذية النباتات وعموماً بمراً طبيعياً .  
إلا أن الدور الذي يقوم به هذين العنصرين في النبات لم يمكن تحديده على وجه  
الدقة

ومن أعراض نقص الزئك تكون الأوراق الصغيرة في النماح . ويظهر قمع  
الأوراق البيضاء في نبات اللندة .

أما المولبديم فإن نقصه في القرنبيط يسبب وقف نمو نصل الأوراق ونمو العرن  
الوسطى فقط وسقوط الأزهار في الماعاطم .

### هجرة العناصر الغذائية

#### Migration of Nutrient Elements

يعتبر Deleano أدون من درس موضوع هجرة العناصر وكان ذلك عام ١٩٠٧  
ولكنه لم ينشر نتيجة أبحاثه إلا عام ١٩٢١ .

ويعتبر Deleano أن النبات أو العضو النباتي يمر أثناء حياته في مراحل ثلاث :

المرحلة الأولى : مرحلة البلوغ Adolescence stage

وتتمار هذه المرحلة بسرعة النمو وتراكم العناصر في جسم النبات أو العضو .

المرحلة الثانية : مرحلة النضج Maturity stage

ولا يتغير في هذه المرحلة المحتوى الرمادي لثبات أو العضو . وقد يزداد المحتوى  
للكربوهيدرات والوزن الجاف .

المرحلة الثالثة : مرحلة الشيخوخة Senescence stage

وفيها تهجر العناصر الأوراق ومنها إلى الساق فالجذ ثم تعود إلى التربة ويسبق  
ذلك فقد النبات لجزء من مائه

ويعبر هذا العالم بوجود هذه المراحل الثلاث إلى التغير في نفاذية الغشاء البلازمي. في المرحلتين الأولى والثالثة تزداد نفاذية الغشاء للعناصر وتنقسم معادته لها في المرحلة الثانية، وأثناء المرحلة الأولى يكون البروتوبلازم سريع النمو فيزيد امتصاص وبراكم العناصر في الخلية أما في المرحلة الثالثة فيكون البروتوبلازم قد اكتمل نموه وقد سطرته على نفاذ العناصر فنساب منه إلى التربة .

وقد وجد Bossle في أبحاثه على نبات القمح أن الأروث والميسور هما جران من الأوراق إلى الساق أثناء المرحلة الثانية ويبقيان في الساق إلى حين الحاجة إليهما في تكوين السنابل ، بينما يساب البوباسيوم مباشرة إلى التربة نظراً إلى عدم الحاجة إليه في تكوين السنابل .

ويظهر أن هناك عمليتان متميزتان بجانب بعضهما أثناء حياة النبات : أحدهما دخول هذه العناصر من التربة والثانية خروجها إليها ، في المرحلة الأولى يكون معدل دخولها أكبر من معدل خروجها فتراكم في خلايا النبات . وفي المرحلة الثانية ينسلو مقدارهما ولهذا فإن المحتوى الزمادي لا يتغير فيها . أما في المرحلة الثالثة فإن معدل خروج العناصر يكون أكبر كثيراً من معدل دخولها فينسب أكثرها إلى التربة

## الباب الثامن

### الانزيمات Enzymes

— (135) —

تنشط الانزيمات معظم التفاعلات الكيميائية التي تحدث داخل الخلايا الحية — حيوانية كانت أو نباتية — فهي تؤثر تأثيراً مباشراً في سير التفاعل في اتجاه معين .

هناك رأى يتبادى بأن التفاعل الكيميائي الذي ينشأه الانزيم يسير ببطء شديد في غيابة . وهناك رأى آخر يقول بأن الانزيم هو الذي يساعد تفاعلا كيميائيا لا يبدأ في غيابة .

والانزيم أو الخثرة هي مادة عسوية ذات تركيب عسوي ، تتأثر بالحرارة ويعرضها بروتوبلازم الخلايا . وهي تساعد على سرعة التفاعلات دون أن تستهلك أو تدخل في نواتج التحليل . ويعنى آخر فالانزيم ما هو إلا عامل مساعد حيوي من نوع خاص Biological catalyst . وكل الانزيمات التي أمكن تحضيرها حتى الآن ذات طبيعة بروتينية .

وعندما اكتشفت الانزيمات لأول مرة أعطت أسماء لا توضح طبيعة عملها كإنزيمات البعس والبرسين والدياستيز . أما الطريقة المتبعة حديثاً في تسميتها فهي إضافة المقطع "از" ، إلى المادة التي يؤثر عليها . مثل أرم اليوريز الذي يحلل اليورما إلى النشادر وثاني أكسيد الكربون . والپ و نيمز الذي يحلل البروتين إلى الأحماض الأمينية ، والسكرين الذي يحلل السكرور إلى الجلوكور والفركتوز .

#### وهوذا الانزيمات في الطبيعة وطرق استخراجها :

توجد بعض الانزيمات في عصير الخلية بحالة طليقة ، ويمكن الحصول على هذا النوع من الانزيمات من عصير الفواكه مثلاً ، وهناك نوع آخر من الانزيمات مرتبط

طريقة ما يروتوبلارم الخلية ولا يمكن استخلاصه بكية واهره إلا بعد معاملة الخلايا معاملة خاصة ، فثلا يستخرج أنزيم المولير من مولت الشعير بمعاملة بمحلول مدعى . فيما تحصر أنزيمات البروتينيز والمولير و الأميين من كروت الدم الحمراء باستعمال محلول يخفف من الجلوسر . وهناك من الأنزيمات ما هو مرتبط بالخلية ارتباطاً وثيقاً ولا يمكن استخلاصها إلا بعد معاملة الخلايا معاملة من شأنها أن تطف الخلية دون أن تتأثر الأنزيمات ، فثلا يستخلص أنزيم السكرير ( الألفرتيز ) بعد معاملة الخلايا بالثوليوجين أو الكلوروفورم ، وأنزيم معقد الزيمو Zymase complex يطحن فطر الخيرة مع الرمل ثم ترشيع المستخلص .

### تنقية المستخلص الأنزيمى :

تعتبر عملية تنقية المستخلصات الأنزيمية من العمليات الصعبة نظراً لوجود الأنزيمات بتركيزات مخففة في مستخلصاتها وكذلك لعدم ثباتها ولطبيعتها اللزجة . وأهم الطرق المستعملة في التنقية هي

#### ١- الترسيب الجزئى Fractional precipitation

والطريقة أن يضاف الكحول أو الأسيتون إلى المستخلص الأنزيمى أو بإجراء عملية الطليح Salting out بواسطة كبريتات الأمونيوم أو كبريتات المغنسيوم أو أملاح أخرى .

#### ٢ - التجمع السطحي عند أس ايدروجينى مناسب

ويستخدم في هذه العملية فوسفات ثلاثية الكالسيوم أو كبريت الأومنيوم ( ايدروكسيد الأومنيوم ) أو الكاؤولين . وتستخدم القوة المركزية الطاردة في فصل المادة المجمعة ومعها الأنزيم من المحلول . أما المادة المترسبة فتعامل بمحلول منظم قوى لطررد الأنزيم فينهرد الأنزيم في المحلول . وعند استعمال القوة المركزية الطاردة مرة أخرى تنحل من المادة المجمعة ويبقى المحلول المنظم وبه الأنزيم الذى يمكن فصله عن المحلول باستعمال عملية الفصل المشاقى Dialysis



### ٣ — التلور :

ويكون ذلك باختيار مذيب خاص يذيب الأنزيم دون الشوائب العالقة به ثم يرشح المحلول ويركز المحلول الأنزيمي ثم يبرد ويترسب . وقد تمكن Sumner (١٩٢٦) من تحضير أنزيم اليوريل على هيئة بلورات مثمرة باستعمال الأستون في إذاتها .

### ٤ — استعمال القوة المركزية الطاردة العالية Ultracentrifuge

### ٥ — استعمال الفصل الكهربائي Electrophoresis

### طبيعة الأنزيم النقي :

سبق أن أوضحنا أن جميع الأنزيمات التي أمكن فصلها حتى الآن ذات طبيعة بروتينية . على أن البروتين لا يكون كل جزيء الأنزيم بل يكون جزءاً منه . أما الجزء الآخر فيكون غير بروتيني . وقد اعتبر Willstatter أنزيم السكرينز وربما كل الأنزيمات بوجه عام . أنها تتكون من مادة كيميائية فعالة محمولة على فواء كبيرة غروية وقد تكون هذه المادة الكيميائية ذات اتصال وثيق بالفواء الغروية أو يكون اتصالها ضعيفاً . وفي هذه الحالة الأخيرة يمكن فصلها عن الفواء الغروية وتسمى بالمرافق لأنزيمي Co-enzyme .

وعن ذلك فيطلق على الأنزيم بجزئيه «الأنزيم الكامل» Holo-enzyme وعلى المادة الغروية «الأنزيم المجرد» Apo-enzyme ، وعلى المادة الكيميائية «المرافق الأنزيمي» Co-enzyme .

### العوامل التي تؤثر على النشاط الأنزيمي :

#### ١ — تركيز الأنزيم ومادة التفاعل :

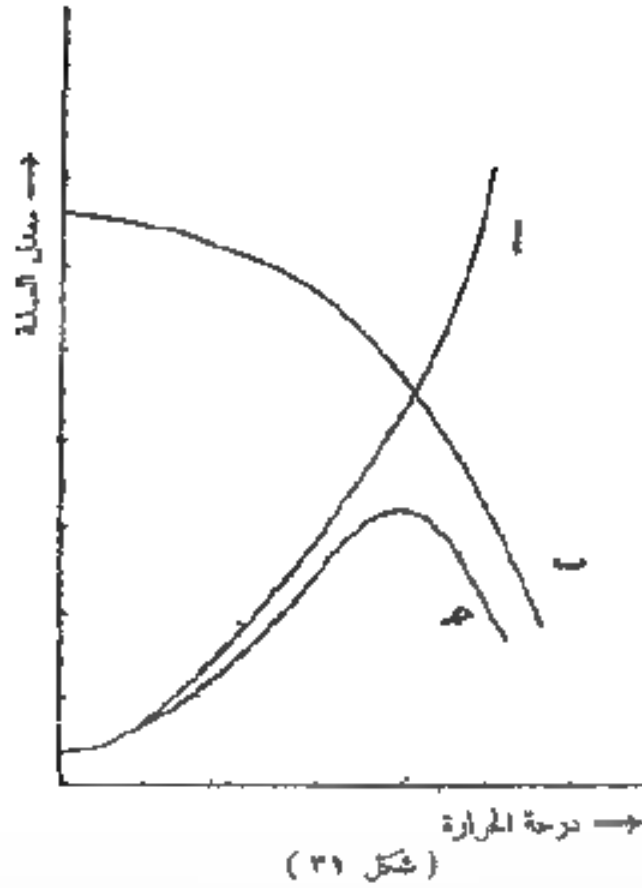
دلت التجارب التي أجريت في أيبوبة الاختصار على أن سرعة تفاعل مادة التفاعل متناسبة تناسباً طردياً مع كمية الأنزيم المضافة وهذا ما يحدث صلاً خصوصاً في بداية التفاعل وعندما يكون تركيز مادة التفاعل عالياً . ولكن بعد أن يستمر التفاعل

عدة من الزمن فإن تركز مادة التفاعل يعن وتراكم نواتج تحليله في وسط التفاعل  
تؤثر في سرعته وتقلها طبقاً لقانون فعل الكتلة law of mass action  
٢ - درجة الحرارة :

من المعروف من قوانين الكيمياء الطبيعية أن رفع درجة حرارة التفاعل  
الكيمائي ١٠ درجات مئوية يؤدي إلى زيادة سرعته مرتين أو ثلاث مرات. ينشأ في  
التفاعلات الطبيعية على هذه الزيادة يكون بين ١,٢ - ١,٣ من سرعة التفاعل  
وحيث أن الأنزيمات تقوم بتنشيط التفاعلات الكيمائية العادية ، فإن تأثير  
الحرارة على سرعتها يكون مماثلاً لمثله في التفاعلات الكيمائية العادية وهذا ما يحدث  
عادة عند رفع درجة حرارة الأنزيم ومادة التفاعل إلى ما يقرب من درجة ٥٠° وبعدها  
يبدأ الأنزيم في التأثر أو التلف بالحرارة العالية. وعلى ذلك فإن معدل التفاعل يأخذ  
في الانخفاض في الدرجات العالية نظراً إلى عدم ثباته عندها ، إذ أنه يجمع تجسداً  
غير حكي كما يحدث عند تسخين دلال البيض (ر (شكل ٣٩) يبين مدى النشاط  
الأنزيمي في درجات الحرارة المختلفة. فالخط البياني (أ) يبين تأثير الحرارة في التفاعل  
الكيمائي البحت. والخط البياني (ب) يبين العلاقة بين درجة الحرارة ودرجة تأثر  
الأنزيم بها. أما المنحنى (ج) فإنه يبين العلاقة الناتجة بين معدل النشاط الأنزيمي  
ودرجة الحرارة أي محصلة التفاعل الكيمائي البحت ودرجة تأثر الأنزيم بالحرارة.  
وواضح من الخط السابق (ج) أن هناك درجة حرارة مثلى عندها يبلغ النشاط  
الأنزيمي ذروته ، وتتراوح هذه الدرجة بين ٢٥° و ٤٥° م.

وقد أوضح Kanitz (١٩١٥) أن الدرجة المثلى للتفاعل الأنزيمي تختلف باختلاف  
نوع الأنزيم وكميته. فمثلاً في أنزيم البابين Pepsin تكون الدرجة المثلى ٦٠° م وحتى  
في الأنزيم الواحد فإن هذه الدرجة تتغير بتغير الفترة الزمنية للتجربة فكأنما طال زمن  
تعرض الأنزيم للدرجة العالية من الحرارة قلت درجة الحرارة المثلى.

وبما يجب ملاحظته أن درجة الحرارة المثلى للأنزيمات تزيد دائماً عن درجة  
الحرارة المثلى لنشاط البروتو بلازم الحي حوالي ٢٥° م



### ٣ - الأس الأيدروجيني

تؤثر درجة حموضة وسط التفاعل تأثيراً كبيراً على نشاط الإنزيم . فعظم الإنزيمات يقل نشاطها كثيراً إذا وجدت في وسط مخالف للأس الأيدروجيني الذي يناسبها . فبعض الإنزيمات تناسبها الحموضة العاليه كأزيم الببسين (  $pH 1\frac{1}{2} - 1\frac{1}{2}$  ) بينما يناسب أنزيم اللايباز درجة متوسطة من الحموضة (  $pH 4 - 5$  ) أما اليورين فيتناسبه الوسط المتعادل (  $pH 7$  ) والتريسين ينشط عندما يكون الوسط مائلاً إلى القاعدية (  $pH 7,8$  ) ومن هنا جلت أهمية استعمال المنظفات .

وقد أوضحت التجارب أن الأس الأيدروجيني المناسب لأنزيم ما يختلف باختلاف

مصدر هذا الأنزيم . مثلاً أنزيم الأميلاز المستخلص من البشكرياس تناسبه (pH ٧) بينما المستخلص من فطر الأسبرجيلس *Aspergillus* يناسبه (pH ٥ - ٤) وللحلول المنظم المستعمل تأثير على الأس الايدروجيني المناسب مثلاً عند استعمال علول منظم من الخللات يكون الأس الايدروجيني المناسب لأنزيم اليوويين هو ٧,٦ أما إذا استعملت الفوسفات في التنظيم فإن الأس الايدروجيني المناسب يكون ٧,٦ .

#### المرافقات الانزيمية Co-enzymes

قدما أن الأنزيم الكامل يتكون من الأنزيم المجرد والمرافق الأنزيمي . وأن الأنزيم المجرد هو الجزء البروتيني الذي تأثر بالحرارة بينما لا تؤثر الحرارة في مرافقه الأنزيمي ذو الطبيعة البلورية . وليس للمرافق الأنزيمي خواص الأنزيم ولكن وجوده ضروري لإحداث التفاعل .

في عام ١٩٠٤ تمكن Harden & Young من فصل معقد الزيمر بطريقة الفصل الكهربائي إلى جزئية بروتينية والبلورية . وقد وجدوا أن كلا منهما على احراد لا يحدث أي تفاعل ولكن عند خلطهما يتجدد نشاط الأنزيم . وقد وجدوا أن المرافق الزيمري يحتوي كمية كبيرة من الفوسفات الدائمة حتى قد اعتبر البعض أن المرافق الزيمري يتكون كله من الفوسفات . وقد ثبت خطأ ذلك لاعتقاد عندما أضيفت الفوسفات إلى الجزء البروتيني من الأنزيم ولم يحدث التفاعل المتظر بما دعى Bayliss إلى الظن بأن معقد الزيمر يحتاج إلى مرافقين أنزيمين أحدهما هو الفوسفات . ويميل الرأي الحديث إلى الأخذ بأن المرافقات الانزيمية تتكون من مواد عضوية على درجة عالية من التحصن وأن الفوسفات تدخل في تركيب المرافق الزيمري كما يدخل الحديد في تركيب مرافق السكاتاليز تحت اسم هيماتين Hematin ، والنحاس في تركيب مرافق اليموسيتين

#### المحفّضات والمثبطات Promoters and inhibitors

يزداد نشاط بعض الأنزيمات عند إضافة مواد معينة في أوساط تفاعلها . وقد

طر أن الزيادة في نشاطها إنما ترجع إلى التأثير المنشط لهذه المواد المضافة ، إلا أنه قد وجد أخيراً أن ذلك النشاط يسببه إبعاد بعض المواد السامة التي تؤثر في نشاط الإنزيم لهايليتها للاتحاد بهذه المواد المضافة . مثلاً يحتوي أنزيم البورين على مجموعة (مركب) التي صند إضافة آثار هائلة من اليود فأبها ترسب مسببة تقليل نشاط الإنزيم ، أما بمجرد إضافة كبريتور الأيدروجين إلى وسط التفاعل فإنه يسيد إداية الإنزيم وينجد نشاطه فوراً .

أما المثبطات فهي المواد التي تؤثر أو توقف عمل الإنزيم . فبعض الإنزيمات يبطل نشاطها عند إضافة أيونات المعادن الثقيلة كالفضة والزرنيق والنيحاس ويمكن إعادته نشاطها إذا عوملت بكبريتور الأيدروجين . وعلى العكس فإن أنزيم البيرو أكسيدير والكاتاليز لا يتأثران في وجود أيونات مثل هذه المعادن ولكنها تتأثر كثيراً في وجود غلز حامض الأيدروسيانيك وكبريتور الأيدروجين لاحتوائهما على الهيماتين ، ولكن يمكن إعادة نشاطهما بإعادة تبلورهما . وأنزيم السكرين يتسم بإضافة المعادن الثقيلة والتليوين .

وهذه المناسبة نذكر أن العوامل المساعدة غير العضوية تقسم كذلك بهذه المواد الغريبة مثلاً يتسم اللاتين الحروي بالزرنيق والزرنيخ واليود وأور أكسيد الكربون .

### طريقة عمل الإنزيم :

يحتاج كل مركب إلى كمية معينة من الطاقة لكي يشط هل أن يدخل التفاعل وتسمى الطاقة اللازمة بطاقة التنشيط Energy of activation . وعمل الإنزيم أو أي عامل مساعد آخر هو أحداث التفاعل بدون الحاجة إلى كمية كبيرة من طاقة التنشيط وبذا توفر الطاقة لاستخدامها في تحليل كمية أكبر من المادة المتحللة . والمثل الآتي يوضح السكية اللازمة من هذه الطاقة لتحليل هرق أكسيد لايدروجين بدون استعمال الإنزيم واستعمال العوامل المساعدة غير العضوية واستعمال الإنزيم :

العامل المساعد      الطاقة ( سعر / جزيء )

١٨٠٠٠

١١٧٠٠

٥٥٠٠

الملايين الغزوي

أزيم الكاتاليز

وتختلف الآراء في تفسير طريقة عمل الأنزيم . يرى Bayliss ( ١٩٢٥ ) أن عادة التفاعل تتجمع تجمعا معصيا على سطح الأنزيم توطئة لإتمام التفاعل الكيميائي . والمعتقد أن التفاعل الأنزيمي يحدث نتيجة لارتداد المادة اتحادا فعليا بالأنزيم مكونة مركبا ما وأن هذا المركب يحلل إلى الأنزيم الأصلي والنواتج التفاعل . وقد أثبت Michaelis & Menten ( ١٩١٣ ) هذا الرأي الأخير نظريا باعتبار أن سرعة تفاعل الأنزيم تتناسب مع تركيز المركب المتكون من اتحاد الأنزيم ومادة التفاعل وبالتالي مع درجة تركيز الأنزيم بالنسبة إلى مادة التفاعل . ويحدث التفاعل الأنزيمي على مرحلتين :

١ - يتحد الأنزيم ( ١ ) مع مادة التفاعل ( ٢ ) ،



٢ - يحلل المركب الأنزيمي الناتج ( ١٢ ) إلى الأنزيم والنواتج النهائية لتحليل



**تخصص الإنزيمات** Specificity of enzymes

تختلف الإنزيمات عن العوامل المساعدة الأخرى غير العضوية في أنها متخصصة في تفاعلها إلى حد كبير . فمثلا لا يحلل أنزيم الببسين Pepsin للبراد الدهنية ولا السكريات البدينية ولكنه يحلل المواد البروتينية . كذلك أنزيم الأميلين Amylase لا يحلل إلا النشا والسكريات . والدلالة على مدى تخصص الإنزيمات يرى أن أنزيم الموليتين Maltase ( وهو من الألفا جلوكوسيدازات  $\alpha$  Glucosidases ) لا يحلل إلا الألفا جلوكوسيدات ولكنه لا يؤثر على بيتا جلوكوسيدات .

وبلاحظ أن أنزيم ألفا جلوكتوسيدز لا يحلل إلا المركب الأول إلى كحول الميثايل والآخر جلوكتوز في وجود جزىء من الماء . بينما لا يتحلل المركب الثانى ( اليثا ميثايل جلوكتوسيد ) إلا بواسطة أنزيم اليثا جلوكتوسيدز إلى كحول الميثايل والثانى جلوكتوز في وجود جزىء من الماء أيضاً .

وثمة مثل آخر للدلالة على التخصص العالى للأنزيمات هو تحلل سكر الراجينوز (سكر ثلاثى) بواسطة أنزيم السكرز (المستخلص من الخيرة) والمالليبايز . وسكر الراجينوز يتكون من ثلاثة سكريات أحادية هي

ألفا جلكتوز ، ألفا جلوكتوز ، جلما فركتوز . بهذا الترتيب

ف عندما يؤثر أنزيم السكرز على هذا السكر فإنه يهاجم من ناحية الفركتوز (لأن هذا الأنزيم يحتوى على جلما فركتوسيدز) ويحلله إلى الفركتوز والمالليبايز (والآخر يتكون من ألفا جلكتوز وألفا جلوكتوز)

أما إذا استعمل أنزيم المالليبايز فإنه يهاجم جزىء سكر الراجينوز من ناحية الجلكتوز (لأنه يحتوى على ألفا جلكتوسيدز) ويحلله إلى الجلكتوز والسكرز (ألفا جلوكتوز وجلما فركتوز) .

وبالمثل فإن جميع الأنزيمات المعروفة بالسكرز تحلل السكرز إلى الجلوكوز والفركتوز ، ولكنها قسمت إلى نوعين : سكرز جلوكتوسيدز وسكرز فركتوسيدز . لأنها تختلف في عملها بالنسبة إلى سكر الراجينوز الثلاثى .

فقد وجد أن أنزيم السكرز المستخلص من فطر الاسبرجلس *Aspergillus* لا يمكنه أن يحلل سكر الراجينوز . بينما يستطيع نفس الأنزيم المستخلص من فطر الخيرة *Yeast* أن يحلله . والسبب في ذلك أن سكرز الخيرة هو سكرز فركتوسيدز أى أنه يهاجم جزىء الراجينوز من ناحية الفركتوز من طرف الجرىء أما سكرز الاسبرجلس فهو سكرز جلوكتوسيدز وعلى ذلك فإنه لا يستطيع مهاجمة الراجينوز من ناحية الجلوكوز لأن جلكتوز تعرض طريقته . أما أنزيم السكرز المستخلص

من أي من المصدرين فإنه يستطيع أن يحلل السكروز لاختزال الأخير على كل من الجلوكوز والفركتوز بحالة سهلة المثال .

من هذه الأمثلة وغيرها يتضح التخصص العالي للأنزيمات ويمكن تشبيه الأنزيم والمواد التي يحللها كفتح بفتح عددًا من أقفال تنفخ معه من حيث تركيبها

### تصنيف الأنزيمات Classification of enzymes

تحتوي الخلايا النباتية على عدد كبير من الأنزيمات لذلك كان من الضروري تقسيمها . ونظراً لأن تركيبها الكيميائي غير معروف بالصبط فقد اتبع في تقسيمها أن يكون مبدياً على طبيعة التفاعلات التي تنشط .

مثلاً سميت مجموعة الأنزيمات التي تقوم بعملية التحليل المائي Hydrolysis بالأنزيمات المحللة أو الأنزيمات الماصة كالتى تحلل النشاء إلى المونثوز والتي تحلل السكروز إلى الجلوكوز والفركتوز والتي تحلل البقول إلى الأحماض الدهنية والجليسرين وتسمى Hydrolases

وهناك مجموعة أخرى من الأنزيمات المحللة التي لا تستعمل الماء في تحليلها ولكنها تحلل مادة التفاعل وجود حامض الفسفوريك بذلك سميت بالفسفوريلازات Phosphorylases

وتمثل المجموعة الثالثة الأنزيمات التي تقوم بتحويل رواتب ذرات الكربون في المركبات الكربونية وقد أطلق عليها اسم الأنزيمات أعادة Desmolases

أما المجموعة الرابعة فهي مجموعة الأنزيمات التي تحدث عمليات التأكسد والاختزال داخل خلايا النبات وقد سميت بالأنزيمات المؤكسدة Oxidizing enzymes

وبما يجب ملاحظته أن هناك مواد يطلق عليها بعض الأنزيمات بما لا يمكن وصفها تحت قسم من الأقسام السابقة حيث قد ثبت أنها مزيج من الأنزيمات المتحدة ومثال ذلك أنزيم الزيمير أو معقد الزيمير Zymase complex فقد اتضح أنه يتكون من عدة أنزيمات تتبع أقساماً مختلفة كما سيأتى ذكره بعد .



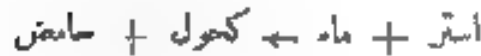
## (١) الأنزيمات المحللة (الهاضمة) Hydrolases

تقسم أنزيمات هذه المجموعة إلى الأقسام الآتية :

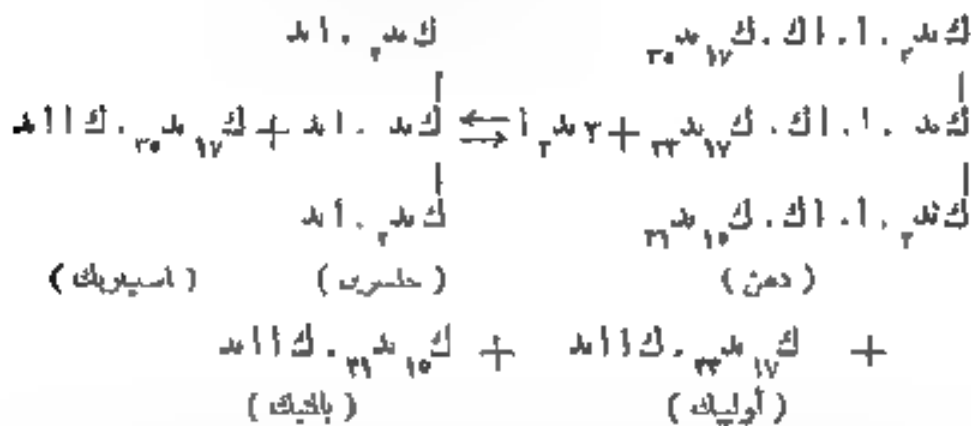
- ١ - محللات الإسترات Esterases
- ب - محللات الكربوهيدرات Carbohydrases
- ج - محللات البروتينات Proteolytic enzymes

### ١ - محللات الإسترات Esterases

وهي التي تحلل الإسترات إلى الكحولات والأحماض



ومن أمثلتها أنزيم الليباز Lipase الذي يحلل الدهن إلى الأحماض الدهنية والجليسرين



وكذلك أنزيم الكلوروفيليز Chlorophyllase الذي يحلل الكلوروفيل في

وسط حامض إلى كحول الفيتول وحامض الكلوروفيليد

وأنزيم الفوسفاتاز Phosphatase الذي يحلل فوسفات الجليسرين إلى الجليسرين

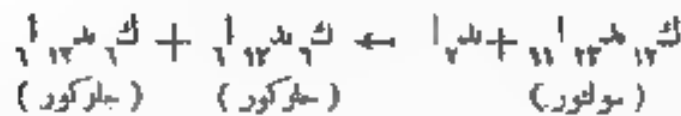
وحامض الفسفوريك . كما يحلل فوسفات الهكسوز إلى الهكسوز وحامض الفسفوريك

ب. محلات الكربوهيدرات Carbohydrases

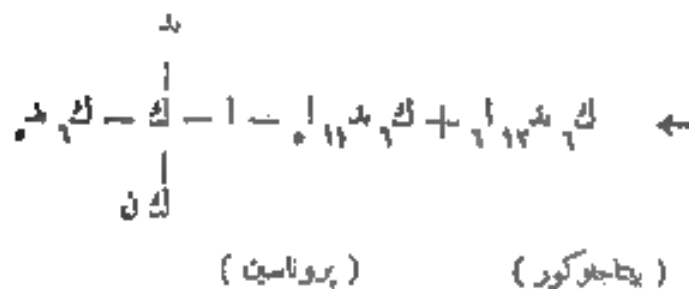
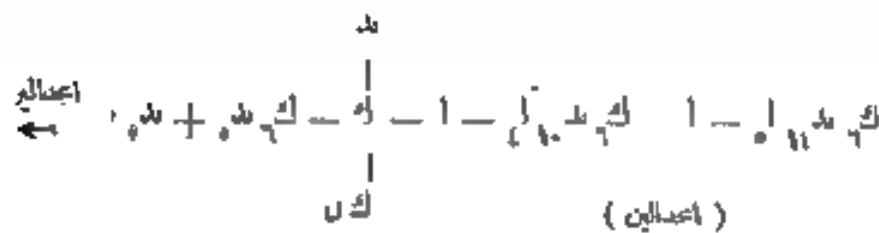
وتقسم إلى لأقسام الأنية.

**أولاً - الجليكوسيديزات** **Olycosidases**

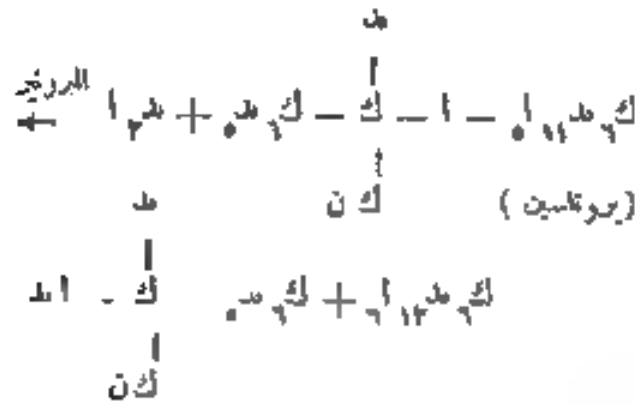
ويختلف عمل هذه الأنزيمات باختلاف التركيب الفادحي لشرع السكر المحلل .  
فمثلا أنزيم الموفير Maltase ( الفاجلو كوسيديز ) يحلل سكر الشعير إلى جزيئين من  
الجلوكوز ( الفا )



وأثرهم الأمسيـر Emulsion ( يتناولوكومسيدير ) الذى يحلل لأجندالين فى  
الجلوكوز والبنز لهيد وحامض الایدروسيانيك وبوجد هذا الأثرهم فى ثمار اللوز  
الخلو والمر ، ومكن مادة الأجندالين لا توجد إلا فى اللوز المر فقط ، ولواقع أب  
هذا الأثرهم يتركب من أكثر من أزم واحد هى : الأجندالين Amygdalase  
والبرونز Prunase والأكسينيتريبلر Oxynitriase ويحدث التحليل على المراحل  
الآتية :

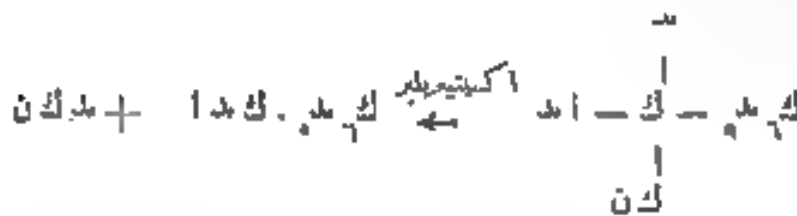


ثم يتحلل البروناسين في وجود أنزيم البروناز إلى بيتا جلو كور والاكسينيرين



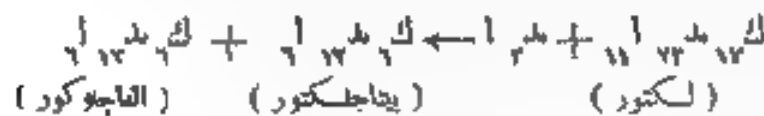
( بيتا جلو كور ) ( اكسينيرين )

ثم يتحلل الاكسينيريل إلى البرالدهيد وسامص الايدروسيايك بواسطة أنزيم الاكسينيريل



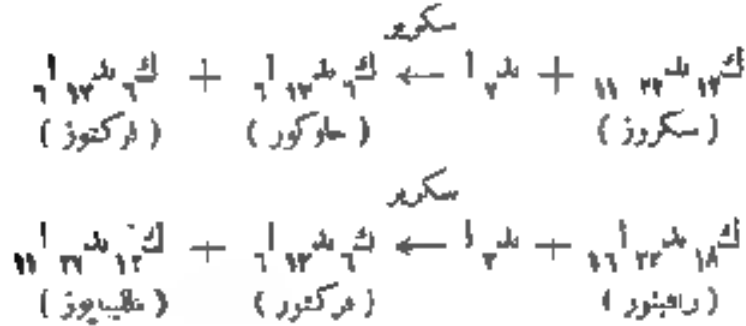
( اكسينيريل ) ( برالدهيد ) ( سامص الايدروسيايك )

ويمكن احتبار الناتج الأول برائحته ، أما عاز حامض الايدروسيايك فإنه يحول لون ورقة مكراب الصوديوم من الأصفر إلى الأحمر هنا ويجب ملاحظة أن الأنزيم الثالث ليس من مجموعة الجليكوسيدازات ولكنه ينتمي إلى مجموعة الأنزيمات الخاصة ، وأنزيم اللاكتيز Lactase ( بيتا جلكتوسيداز ) يحلل سكر اللاكتوز الثنائي ( سكر اللبن ) إلى مكوناته وهي البيتا جلكتوز والفاجلوكور



ويحلل أنزيم السكرز Sucrase المستخلص من الخيرة ( هنوهر كنوسيدز ) كل السكريات الفركتوسيدية مثل سكر القصب وسكر ارافينور كما سبق ذكره ، محلا

الأول إلى الماحلوكوز وهذو فركتوز ، وعلاا الثاني إلى الفركتوز والليباور :



ثانياً — أنزيمات هدم بروت الفسكر Polysaccharide - enzymes

وتقسم إلى الأقسام الآتية . —

١ — أنزيمات تحلل النشاء Starch - splitting enzymes

يطلق اسم الأميلين Amylase أو الدياستيز Diastase على الأنزيمات التي تحلل النشاء تحليلًا مائياً إلى مكوناته البسيطة . وقد ثبت أن أنزيم الأميلين يتكون من جملة أنزيمات هي: الأميلين الحقيقي Amylase proper وهذه تحلل النشاء إلى دكسين . وأنزيم الدكستريين Dextrinase الذي يحلل الدكستريينات إلى مولتور . وإذا وجد أنزيم المولتين مع هذين الأنزيمات فإنه يحلل المولتور إلى الجلوكوز . وقد وجد أن أنزيم الدياستيز المستخرج من فطر الأسرجلس يحتوي على هذه الأنزيمات الثلاثة ويسمى تاكادياستيز Taka - diastase

٢ — أنزيمات تحلل السيلولوز Cellulose - destroying enzymes

وأهمها أنزيم السيلولين Cellulase الذي يحلل السيلولوز إلى السيلوبايوز . وأنزيم السيلوبازين Celloblase الذي يحلل السيلوبايوز (سكر ثنائي) إلى مكوناته من البيناجلوكوز .

وأنزيم السايين Cytase الذي يحلل الهيميسيلولوز Hemicellulose الذي يكون

وجوده في أعضاء التحرين كبذور البلع والبن - إلى الجلوكوز وسكريات أخرى وأحماض.

### ٣ - أنزيم يحلل الأنولين Inulin - splitting enzyme

يحلل أنزيم الأنولين Inulase الأنولين الموجود في درنات الطرطرة إلى سكر الفركتوز . وحيث أن الأنولين هو ناتج تكشف سكر الفركتوز ، لذلك يعتبر الأنولين من الفركتوسيدات .

### ٤ - أنزيمات تحلل المواد البكتينية

توجد المواد البكتينية في النبات على صور ثلاث : فقد توجد على هيئة حامض البكتيك أو أملاحه . وقد توجد على شكل استرات حامض البكتيك أو متحدة مع السليولوز . وفي هذه الحالة الأخيرة تكون غير ذائبة ، وأشهر أنزيماتها :

أنزيم البكتوريناز Pectonase الذي يحلل البكتينات الغير ذائبة إلى بكتينات ذائبة .

أنزيم البكتير Pectase يحلل استرات حامض البكتيك إلى حامض البكتيك والكحول

أنزيم البكتيناز Pectinase الذي يحلل المواد البكتينية إلى سكريات خاسية وسداسية السكر بون .

ونظراً لوجود هذه الأنزيمات في بعض الكائنات الدقيقة فإنها تستخدم في عملية تعطين الكتان فتسلك الألياف وبدأ تصلح للصناعة .

### ٥ - محللات البروتينات Proteolytic - enzymes

وتقوم بتحليل البروتين إلى الأحماض الأمينية أو الببتيدات وتنقسم إلى الأقسام الآتية :

أولا : البروتيازات **Proteases** : تعمل على جزيء البروتين اعتمادا على عدد من المحددات وأهمها .

أنزيم البابين Papain يوجد في ثمر نبات البابايا .  
 أنزيم البروملين Bromelain يوجد في نبات الأناناس .  
 أنزيم السكرادين Cradain يوجد في ثمر أشجار التين .

ثانياً : الببتيدازات Peptidases تحول الببتيدات إلى الأحماض الأمينية ومنها

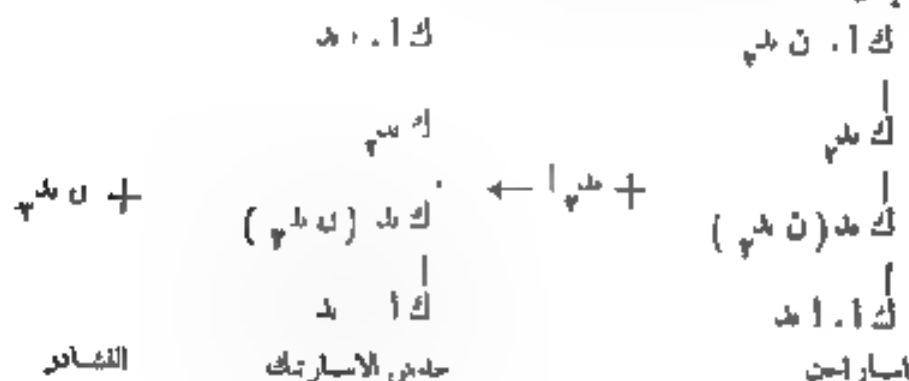
١ - البروتينات Polypeptidases وهي تحلل بروتيد إلى ثنائي الببتيد Dipeptides وأحماض أمينية .

٣- الهيدروكسيدات Dipeptidases التي تحمل الشحنة السالبة إلى الأحماض الأمينية

ثالثاً : الأاميديزات Amidasases

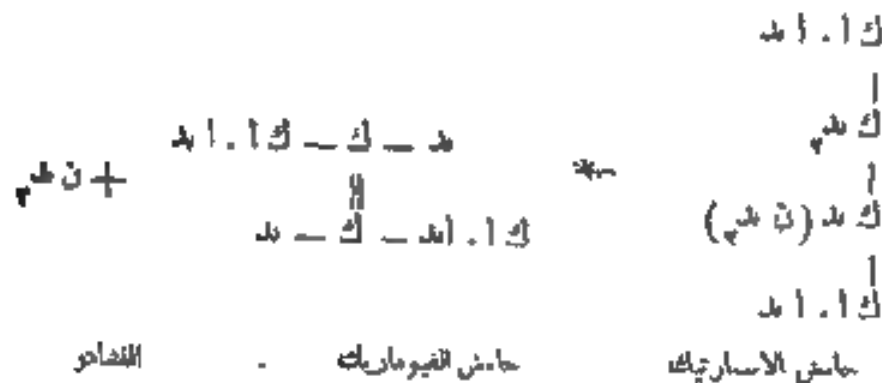
وهي التي تفكك دالة الكربون والازوت (ك-ن) . ومعظم هذه الانزيمات يطلق الامونيا من مواد التماصل ومن أهم أمثلتها .

أنزيم الاساراجينين Asparaginase يعوم بتحليل الاسباراجين إلى حامض الاسويك Aspartic acid والنشادر في وجود الماء .

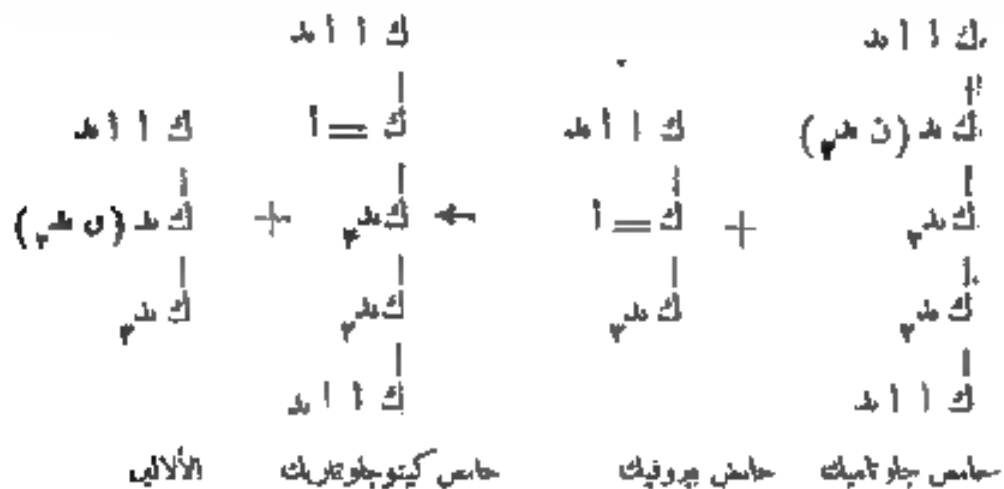
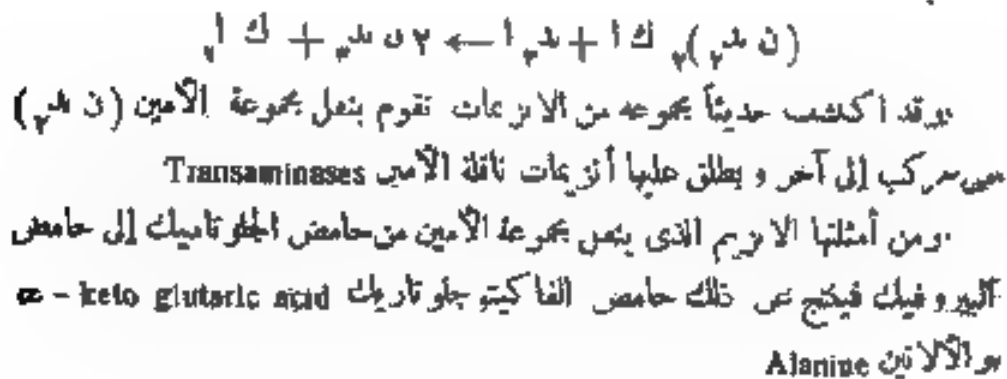


أنزيم الجلوتامينيز Glutaminase لدى يميل الجلوتامين إلى حامض الجلوتاميك والنشادر

أنزيم الاسارتيز Aspartase يحلل حامض الاسباريك Aspartic acid إلى  
 الفيوماريك Fumaric والنشادر .



أنزيم اليوريز Urease يحلل اليوريا في وجود ماء إلى النشادر وثاني أكسيد  
 الكربون .



## (٢) الفسفوريلاتات Phosphorylases

وقد اكتشف منها ثلاثة مجاميع هي :

الأولى: وهي المجموعة التي تسبب فسفرة الهكسوزات Hexose phosphorylation ومن أبرزها :

أنزيم الهكسوكايناز Hexokinase ويقوم بتنشيط جزيء سكر الهكسوز بنقل جزيء من الفوسفات من أدنين ثلاثي الفوسفات إلى ذرة الكربون السادسة في السكر. جلوكوز + أدنين ثلاثي الفوسفات ←

جلوكوز ٦ فوسفات + أدنين ثنائي الفوسفات  
ك<sub>١١</sub> مد<sub>١١</sub> + أدنين ثلاثي الفوسفات ←

ك<sub>١١</sub> مد<sub>١١</sub> أ<sub>١</sub> (مد<sub>١١</sub> قوا<sub>١</sub>) + أدنين ثنائي الفوسفات  
أنزيم الفسفوميوتاز Phosphomutase ينقل جزيء الفوسفات من ذرة الكربون السادسة إلى ذرة الكربون الأولى ويتكون جلوكوز ١ فوسفات  
Glucose 1 phosphate

جلوكوز ٦ فوسفات ← جلوكوز ١ فوسفات  
أنزيم فوسفوايسوميراز Phospho - isomerase يحول جلوكوز ٦ فوسفات إلى فركتوز ٦ فوسفات

جلوكوز ٦ فوسفات ← فركتوز ٦ فوسفات  
الثانية: وهي التي تحلل النشاء في وجود حامض الفسفوريك مكونة جلوكوز ١ فوسفات  
بأنزيم Starch phosphorylase

نشاء → مد<sub>١١</sub> قوا<sub>١</sub> ← جلوكوز ١ فوسفات  
الثالثة: وهي التي تحلل السكرور في وجود حامض الفسفوريك إلى جلوكوز ١ فوسفات  
+ فركتوز. بأنزيم السكرور فسفوريلاز Sucrose phosphorylase  
سكرور ← جلوكوز ١ فوسفات + فركتوز  
ك<sub>١١</sub> مد<sub>١١</sub> أ<sub>١</sub> + مد<sub>١١</sub> قوا<sub>١</sub> ← ك<sub>١١</sub> مد<sub>١١</sub> أ<sub>١</sub> (مد<sub>١١</sub> قوا<sub>١</sub>) + ك<sub>١١</sub> مد<sub>١١</sub> أ<sub>١</sub>



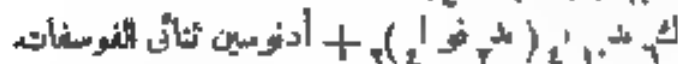
### (٣) الانزيمات الهادمة Desmolases

سبق أن ذكرنا أن أنزيم الأكسينيتريلاز الموجود في أنزيم معقد الأميلين هو من الانزيمات الهادمة ، لأنه يفكك الرابطة بين ذرات الكربون في الأكسينيتريلاز .  
وأم الانزيمات الهادمة هو مجموعة أنزيم معقد الزيمير ، تلك المجموعة التي تلعب دوراً هاماً في عمليات التمثيل في النبات .  
ويقوم معقد الزيمير بتخمير سكريات الجلوكوز والمايوز والفركتوز ، بينما لا يحضر سكر الجلوكتوز وكلها سكريات أحادية .  
ويتركب هذا الانزيم من جلة أنزيمات تشترك كلها الواحد تلو الآخر في تخمير السكر إلى الكحول وثاني أكسيد الكربون طبقاً للمعادلة :



#### خطوات التخمير الكحولي :

لا بد لكي تدخل السكريات في عملية الاحمرار الكحولي من فسفرتها ثم تتحول إلى فركتوز ٦ فوسفات من السكريات المقابلة كما سبق أن بينا في فسفرة الهكسوزات في وجود جزيء من أدوسين ثلاثي الفوسفات .  
يلي ذلك فسفرة الفركتوز ٦ فوسفات مكوناً فركتوز ١ ٦ ثنائي الفوسفات ويتم ذلك بنقل جزيء الفوسفات من جزيء آخر من أدوسين ثلاثي الفوسفات بنسب الانزيم .



تبتنى بعد ذلك خطوات التحليل كما اقترنها ماير هوف Meyerhof وآخرون :



جزيئاً من الماء مكوناً مركباً أبتولياً هو حامض الفسفويبروفيك Phosphopyruvic

كـ بـ بـ كـ (بـ بـ بـ) . كـ ا ا بـ ←

كـ بـ = كـ (بـ بـ بـ) . كـ ا ا بـ بـ بـ بـ

(حامض ٢ - فسفوسايريك) (حامض فسفوبيروفيك) (١٠)

(٦) تمتد سحرة حامض الفسفوريك من حامض الفسفويبروفيك ونقل إلى

مركب مستقل للفسفات كالادنوسين ثنائي الفوسفات وتحول حامض الفسفويبروفيك

إلى حامض البيروفيك وذلك بواسطة أنزيم Pyruvic phosphokinase

كـ بـ = كـ (بـ بـ بـ) . كـ ا ا بـ بـ بـ بـ بـ بـ بـ

كـ بـ . كـ ا . كـ ا ا بـ بـ بـ بـ بـ بـ بـ بـ بـ بـ

(٧) تحول حامض البيروفيك إلى الاسيتالدهيد وثاني أكسيد الكربون

(والأخير أول نواتج عملية الاحمرار الكحولي) ويتم ذلك بواسطة أنزيم

الكاربوكسيلر Carboxylase

كـ بـ . كـ ا . كـ ا ا بـ بـ بـ بـ بـ بـ بـ

(حامض البيروفيك) (اسيتالدهيد)

(٨) بواسطة أنزيم الكحول ديهيدروجينير Alcohol dehydrogenase

يشكون الكحول الايثايل من الاسيتالدهيد وذلك بنقل الايدروجين الموجود في

المرافق الأخرى الناتج في المرحلة الثالثة إلى الاسيتالدهيد وبذلك يعود المرافق

الأخرى إلى حالته الأولى ليندخل في تفاعل آخر .

كـ بـ . كـ ا بـ المرافق الأخرى بـ بـ بـ بـ بـ بـ بـ بـ بـ بـ بـ بـ بـ بـ بـ بـ

وبما يجب ملاحظته أن أنزيم الكاربوكسيلر لا يوجد في عضلات الحيوانات . وعلى

ذلك فإن حامض البيروفيك لا يتحول إلى الاسيتالدهيد وثاني أكسيد الكربون في

عضلاته . ولكنه بدلا من ذلك يتحول إلى حامض اللكتيك Lactic acid في وجود

أنزيم اللاكتيك ديهيدروجينير Lactic dehydrogenase . وذلك بنقل الايدروجين

من المرافق الأخرى الناتج في المرحلة الثالثة إلى حامض البيروفيك .

كبد . ك ١ . ك ١ ا ا د + المرافق الانزيمى بـ ←  
 كبد . كبد . ا د . ك ١ ا ا د + المرافق الانزيمى  
 ( حامض المريك ) ( حامض المريك )

ويمكن بإضافة بعض المواد تحويل بحرى سير التفاعل إلى جهة أخرى لينتج الجلوسين ، فإذا أصبحت مادة كبريتيت الصوديوم إلى وسط التفاعل فإنها تتحد مع الاسيتالدهيد الناتج في الخطوة السابعة وبذلك تمنع حدوث الخطوة الثامنة ، وبهذا بدلا منها أن تستقبل فوسفات الاسيتون ثنائية الايدروكسيد ( الناتج في العملية الأولى ) الايدروجين من المرافق الانزيمى الذى استزل في الخطوة الثالثة . وينتج عن ذلك فوسفات الجلوسين ويتأكسد المرافق الانزيمى . ثم تحلل فوسفات الجلوسين بأنزيم الفوسفاتين إلى حامض الفسفوريك والجلوسين .

وقد استخدمت هذه الطريقة في ألمانيا في الحرب العظمى لأول ( ١٩١٤ ) لإنتاج الجلوسين .

#### (٤) انزيمات التأكسد Oxidising enzymes

يحدث التأكسد إما بإضافة الأكسجين إلى المركب أو برفع الايدروجين منه أو بعدد الإلكترونات من المادة المؤكسدة و تعاملها إلى العامل المؤكسد الذى يختزل بدوره .

وتنقسم أنزيمات هذه المجموعة إلى قسمين :

##### ١ - أنزيمات ناقلة هوكسين

وهذه تنقسم بدورها إلى المجموعات الآتية :

##### أولا : الأكسيدرات Oxidases

وهذه تعمل في الأكسدة جزئيا الأكسجين العادى

##### ثانياً : البيروكسيدرات Peroxidases

وهذه تعمل في الأكسدة ، الأكسجين النشط الناتج من تحليل فوق الأكسيد

ثالثاً : الكاتاليزات Catalases

وهذه تعمل فوق أكسيد الهيدروجين إلى الماء والأكسجين .

ب - أنزيمات ناقل هيدروجين

وهي تقوم بالأكسدة عن طريق نزع الهيدروجين من المركب . ولا بد من وجود مستقبل هيدروجين Hydrogen - acceptor ليأخذ الهيدروجين المتروك من المادة التي تأكسد ونسبى ماعمة الهيدروجين Hydrogen - donator وهذه تنقسم بدورها إلى ثلاثة أقسام هي :

أولاً - أنزيمات تنقل الهيدروجين إلى الريبوفلافين Riboflavin مثل أنزيم الشاردنجر Schardinger enzyme

ثانياً - أنزيمات تنقل الهيدروجين إلى المرافعات لأزيمية الخاصة بها مثل الكحول ديهيدروجينيز Alcohol dehydrogenase

ثالثاً - أنزيمات تنقل الهيدروجين إلى السيتوكروم Cytochrome مثل الكسنيك ديهيدروجينيز Succinic dehydrogenase

١ - أنزيمات ناقلة للاكسجين

أولاً : الأكسيديزات

ومنها ما تكون مراكزها الفعالة عنصر الحديد مثل أنزيم السيتوكروم أكسيديز Cytochrome oxidase الذي يؤكسد السيتوكروم المختزل في وجود الأكسجين إلى السيتوكروم والماء .

ومنها ما تكون مراكزها الفعالة عنصر النحاس مثل أنزيم التيروسينيز Tyrosinase وهذه تؤكسد المركبات الفينولية باستعمال أكسجين الجو ، وكذلك أنزيم أكسيديز حامض الاسكوربيك Ascorbic acid oxidase الذي يؤكسد حامض الاسكوربيك

( فينامين ح ) إلى حامض الاسكوربيك المؤكسد والماء . ومنها أيضاً أنزيم الكسيز Laccase الذي يوجد في أشجار الكالك الياباني ويقوم بأكسدة نوعين من الفينولات الموجودة في عصارة هذه الأشجار منتجاً صمغ الكالك الأسود

هذه الأكسيدات هي التي تسبب تلون الأنسجة النباتية المقطوعة عند تعرضها للهجوم باللون البني ويمكن الاستدلال على وجودها وتأثيرها بإضافة محلول الجواياكم ( وهو مركب فينولي ) إذ يتلون باللون الأزرق نتيجة لأكسدته بأكسجين الجو في محلول الأكسيدات .

#### ثانياً : البيروأكسيدات

وأنزيمات هذه المجموعة شائعة الوجود في أسجة البساتن وتعمل بنشاط في وجود أي فرق أكسيد مثل فوق أكسيد الايدروجين الذي يحلله إلى الماء والأكسجين النشط ، ويستطيع أن يؤكسد بهذا الأكسجين مجموعة كبيرة من المركبات الفينولية مثل الأدر والميتا والبارا كريزول والبيروجلول والجواياكم . فإذا أصيب محلول الجواياكم إلى مستخلص جذور الفجل فبسر الجواياكم لا يتأكسد لعدم وجود الأكسجين النشط المؤكسد ، أما إذا أصيب إلى المستخلص قليلاً من بيروكسيد هيدروجين فسيغير لون الجواياكم إلى اللون الأزرق لأكسده بالأكسجين النشط الناتج من تفكيك بيروكسيد

#### ثالثاً : الكاتاليزات

أنزيمات هذه المجموعة شائعة أيضاً في النباتات . وتقوم هذه الأنزيمات بتفكيك فوق أكسيد الايدروجين فقط إلى الماء والأكسجين النشط

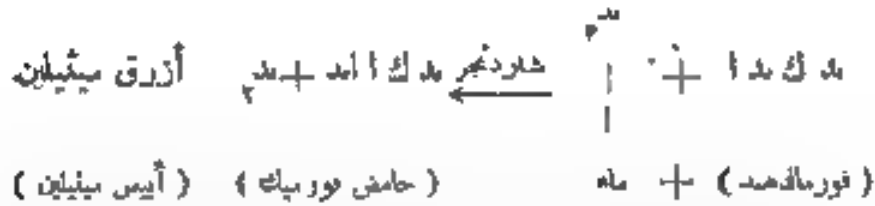


ووجود هذه الأنزيمات هام جداً في حياة النبات لأنه إذا زاد تركيز بيروكسيد هيدروجين في الخلية فإنه يسبب تسمم الخلايا وموتها . ومن الملاحظ أن الكاتاليزات لا تفكك بيروكسيد إلا إذا زاد تركيزه إلى درجة يصبح معها صاراً بالخلية وأن

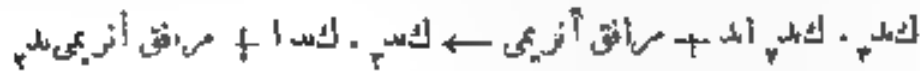
البيرواكسيدات قلوية على استتمادهم إلى عمليات الأكسدة متى كان تركيزه منخفضاً في الخلايا .

### ب - أنزيمات ناقلة الـلايدروجين

١ - أنزيم الشاردنجر وقد اكتشفه شاردنجر Schardinger ( ١٩٠٢ ) الذي لاحظ أنه إذا أصيب الأدهيد وأزرق الميثيلين إلى اللون الطارح في غياب الأكسجين فإن الأنزيم يحلل جزئياً الماء إلى الأكسجين واللايدروجين فيؤكسد الأكسجين الأدهيد إلى الحامض بينما يختزل أزرق اميثيلين باللايدروجين مكوناً أبيض الميثيلين طمناً للمادة :



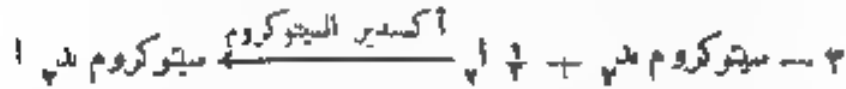
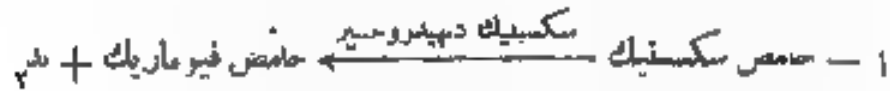
٢ - أنزيم الكحول ديهيدروجينيز Alcohol dehydrogenase وهو يؤكسد كحول الإيثانل إلى الأسيتالدهيد ، ويوجد في الخميرة . ويلزم للفاعل وجود المرافق الأنزيمي حيث يدخل في التفاعل كمتقبل لللايدروجين .



وكذلك أنزيم Triosephosphate dehydrogenase الذي سبق ذكره في المرحلة الثالثة من التحلل السكري

٣ - أنزيم السكسينك ديهيدروجينيز Succinic dehydrogenase ويكثرونه جميع الكائنات الحية . وهذا الأنزيم يفرغ الـلايدروجين من حامض السكسينك في وجود مستقبل لللايدروجين وهو السيتوكروم الذي يختزل باللايدروجين ، وعند تعرضه للأكسجين الجوى يتأكسد السيتوكروم ثانياً ويتكون الماء . ويتم ذلك

التفاعل الأخير في وجود أيزيم السيتوكروم أكسيدير وسبق الكلام عنه في الأكسيدات ، وتصور الخطوات الآتية هذا التفاعل :



ويعتبر الأكسجين في الخطوة الأخيرة مستقبلاً للإندروجين من السيتوكروم المنحول . ويمكن لأزرق الميتيلين أن يحل محل الأكسجين فيتحول إلى أبيض الميتيلين لاحتراقه . أما إذا تعرض أبيض الميتيلين مرة ثانية إلى الأكسجين الجوي فإنه تحول ثانية إلى أزرق الميتيلين .





## الباب التاسع

### التحول الغذائي ( الأيض )

#### Metabolism

—•••••—

يُحصل النبات الأخضر على غذائه من مصدرين

المصدر الأول : وهو التربة ويحصل النبات منها على الماء والأملاح الذائبة .  
المصدر الثاني: وهو الهواء الجوي ومنه يأخذ النبات غاز ثاني أكسيد الكربون.  
وعندما يحصل النبات على احتياجاته من العناصر من هذه المصادر ، فإنه يقوم  
ببنائها وتركيبها في جسمه مستعيناً بالطاقة الضوئية بطريقة مباشرة أو غير مباشرة  
حسب نوع المادة التي تنبني وبمساعدة العوامل المساعدة العضوية ( الأنزيمات ) التي  
سبق الإشارة إليها ، ويتفرد عار الأكسجين وينطلق في الهواء نتيجة لبعض عمليات  
البناء..

والناتجات تنبني طائفة كبيرة من المركبات العضوية كالسكريات ويدات بأنواعها  
والبروتينات والمواد الدهنية والأحماض العضوية والأصماغ النباتية والأنزيمات  
والفيتامينات والهرمونات وغيرها .

ولا بد لإتمام عمليات البناء السابق الإشارة إليها من استخدام الطاقة التي تحرر  
في جزيء المادة التي تنبني كأمثلة بها طالما بقيت هذه المواد على حالتها . فجزيء السكر  
مثلاً يبنى من ثاني أكسيد الكربون والجوى والماء بمساعدة الطاقة المستمدة من ضوء  
الشمس وفي وجود المادة الخضراء . ويبقى الطاقة التي استحدثت في بناء جزيء السكر  
كأمثلة به طالما بقي جزيء السكر على حاله ، إلا أنها تنطلق كلها إذا انحلت هذا المركب  
إلى مكوناته الأولية كما يحدث عند حرق قطعة من السكر . فإنه تولد طاقة حرارية

هي التي كانت مخزنة في جزيئاته وينحل جزئياً السكر إلى الماء ونائياً أكسيد الكربون .  
وقد تنطلق بعض الطاقة إذا تحول المركب المعقد إلى مركب آخر أقل تعقيداً .

وليس عمليات التحول الغذائي جميعها عمليات بناء ، بل إن بعض عمليات هدم  
وتحدث العمليتان - البناء والهدم - في النبات جنباً إلى جنب ، وتؤدي عمليات الهدم  
إلى إطلاق جزء أو كل الطاقة الكامنة في الجزيء المهدوم كما سبق لإشارة إليه .

وقد يقابح إلى النعم أن عمليات الهدم التي تحدث داخل النبات إنما هي عمليات  
صادة ولا تعود على النبات بأية فائدة . ولكن الواقع أن عمليات الهدم التي تحدث  
في النبات تحت الظروف العادية لا تقل أهمية عن عمليات البناء . بل إن الهدم في  
بعض الأحيان يكون ضرورياً لكي يتم بناء بعض المركبات كما سيأتي ذكره في حينه  
فتمد إنسان البدو مثلاً وعندما يبدأ النبات في تكوين مجموعته الجذرية ومجموعه  
الخصري فإن النبات يبدأ حياته بعمليات هدم المواد المخزنة في أجزاء البذرة ،  
وتحول المواد المخزنة المتقدمة إلى مواد أقل تعقيداً يستعملها النبات في بناء خلايا  
الجذير والريشة ، ويستعمل الطاقة الناتجة من عملية التحول في بناء الخلايا الجديدة ،  
وفي دفع جذره في التربة والريشة في الهواء وتستمر عملية الهدم حتى يكون للنبات  
مجموع جذري ومجموع خضري يمكنه بواسطتهما امتصاص الماء والأملاح من التربة  
ونائياً أكسيد الكربون من الهواء الجوى وعندما يعتمد النبات على نفسه في بناء  
مركباته .

غير أنه يحدث أحياناً أن يحتل النظام الداخلي للبروتوبلازم ويفقد سيطرته على  
عمليات التحول الغذائي نتيجة لعوامل داخلية أو خارجية طارئة مما يؤدي إلى حدوث  
الانحلال الذاتي Autolysis وتكون داخل خلايا النبات مواد غير تلك التي تنتج  
من عمليات التحول الغذائي فإذا وجد النبات مثلاً في جرح حال من الأكسجين -  
وهذه حالة غير طبيعية - تكون بخلاياه مواد ضارة كالسكرول والاميتاليد .

من ذلك نرى أن النباتات تحصل على غذائها من مواد أولية بسيطة وتقوم

بتحويلها إلى مواد عضوية مفيدة، هناك إذن الوسيلة الطبيعية لتكوين المركبات العضوية في الطبيعة . وبناء على ما تقدم فإنه يمكن تقسيم عمليات التحول الضاقي إلى قسمين رئيسيين :

القسم الأول : ويشمل عمليات البناء Anabolism ومنها تستخدم المواد الأولية البسيطة في بناء المواد الأكثر تعقيداً مع استعمال الطاقة واختزانها . وتشمل عمليات البناء العمليات الآتية :

( أ ) بناء المواد الكربوهيدراتية Carbohydrate synthesis

( ب ) بناء المواد الأزوتية Protein synthesis

( ج ) بناء المواد الدهنية Fat synthesis

القسم الثاني : ويشمل عمليات الهدم Katabolism وفيه تتحلل المواد المعقدة إلى مركبات أولية بسيطة وتنطلق الطاقة المخزنة

—•••••

## الفصل الأول

### البناء Anabolism

#### أولاً - بناء المواد الكربوهيدراتية Carbohydrate synthesis

يبنى النبات المواد الكربوهيدراتية من الماء وثاني أكسيد الكربون . ويحصل النبات على الماء من التربة أما ثاني أكسيد الكربون فيأخذه من الهواء الجوي . لذلك سميت هذه العملية بالتمثيل الكربوني Carbon assimilation حسب المعادلة

$$\text{ثاني أكسيد الكربون} + \text{ماء} + \text{طاقة} \rightarrow \text{سكر} + \text{ماء} + \text{أكسجين} .$$

وحيث أن الضوء ضروري لكي يتم اتحاد الماء وثاني أكسيد الكربون لتكوين جزئ المادة الكربوهيدراتية فإنه كثيراً ما تسمى هذه العملية بعملية التمثيل الضوئي

Photosynthesis

وإذا تهر الماء وثاني أكسيد الكربون ولم توجد المادة الخضراء ، فإن عملية بناء المواد الكربوايدراتية لا تتم ، لأن المادة الخضراء هي التي تساعد على إتمام العملية ، بدليل أن الأجزاء البانية الخالية منها لا تتم فيها هذه العملية . لذلك فإنها تسمى أيضاً بالتشيل الكلوروفيس Chlorophyll assimilation

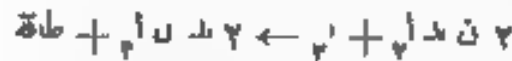
وتعتبر عملية البناء الضوئي أهم العمليات البنائية في حياة النبات والحيوان . والنباتات الخضراء القدرة على امتصاص الطاقة الضوئية من ضوء الشمس وتحويلها إلى طاقة كيميائية تستعملها في بناء جزيء الكربوايدرات المعقد .

إلا أن هناك بعض الكائنات الحية الدقيقة كمض أنواع البكتريا يمكنها أن يبنى المركبات الكربوايدراتية رغم حلول أجسامها من المادة الخضراء ، وذلك بأن تستعمل الطاقة التي تنطلق من بعض التفاعلات الكيميائية أثناء تنفسها . فمثلا تؤكد بكتريا النيتروزوموناس Nitrosomonas المصدر إلى أروبيت في وجود الأكسجين .



وتستخدم البكتريا جانبا من هذه الطاقة في بناء جزيء المادة الكربوايدراتية من الماء وثاني أكسيد الكربون

وتقوم بكتريا النيتروباكتريا Nitrobacter بأكسدة الأروبيت إلى أروئات .



وتؤكد بكتريا الكبريت كبريتور الأيدروجين إلى الكبريت في وجود الأكسجين وتنطلق الطاقة التي تستعمل كذلك في بناء المواد الكربوايدراتية :



وحيث أن مصدر الطاقة المستعملة في هذا النوع من البناء الكربوايدراتي الذي

مفهوم به البكتريا هو التفاعلات الكيماوية ، فإن هذا النوع من البناء يعرف بالبناء الكيماوى Chemosynthesis .

### ميكانيكة البناء الضوئى :

عما لا شك فيه أن تكوين السكر ( وهو أول نواتج عملية البناء الضوئى ) يمر على مراحل متتابعة بأن تكون مركبات بسيطة تأخذ فى التعقيد تدريجياً حتى ينتهى الأمر بتكوين جزيء الكربوهيدرات .

وأول من وضع تفسيراً معقولاً لهذه المراحل هو Baeyer ( ١٨٧٠ ) الذى قام بوضع نظريته الفورمالدهيد . وفيها يفترض أن العملية تتم على مرحلتين . المرحلة الأولى: وفيها يتحول ثاني أكسيد الكربون و جرد الماء إلى فورمالدهيد .



المرحلة الثانية : وفيها تتكاثف جزيئات الفورمالدهيد الناتجة فى المرحلة الأولى مكونة جزيء سكر المكسور .



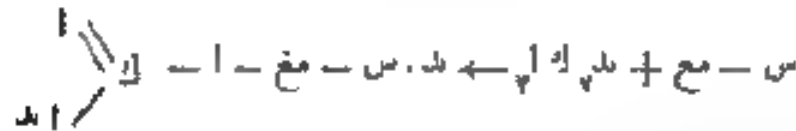
وقد تعرضت نظرية Baeyer إلى كثير من النقد . وكان أكثر النقد منصفاً على تكوين الفورمالدهيد داخل خلايا النبات . إذ أن التجارب أثبتت أن هذا المركب سام جداً لخلايا النبات حتى إذا وجد بتركيزات منخفضة جداً فشلا وجوداً . قياسات الإثوديا ظهرت عليها أعراض التسمم عندما وصفت فى محلول من الفورمالدهيد تركيزه ٠.٠٠٠٤ ٪ .

إلا أن أنصار نظرية الفورمالدهيد ، ومنهم Baly ( ١٩٢٧ - ١٩٢٩ ) ذهبوا بأن الفورمالدهيد الناتج يتحد بمجرد تكوينه ويتكاثف مع نفسه مكوناً جزيء السكر وبذلك لا يظهر أثره السام .

وفى عام ١٩١٨ قام Willstatter and Stoll بإدخال بعض التعديلات على نظرية

الفورمالدهيد ، تتحاض في أر لمادة الخضراء لا تتمصر أهميتها على امتصاص الطاقة الضوئية من ضوء الشمس ، بل أنها تتحد اتحاداً كيميائياً مع حامض السكر بونيك ثم تخرج من التفاعل بدون أن تتميز في تركيبها - شأنها في ذلك شأن العوامل المساعدة . ويتم التفاعل في المراحل الآتية :

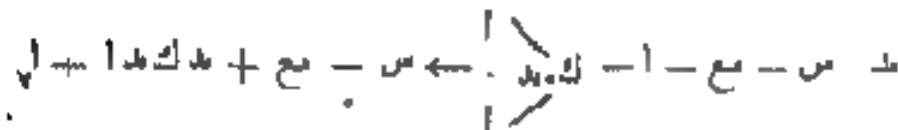
المرحلة الأولى : يتحد الماء مع ثاني أكسيد السكر بونيك مكوناً حامض السكر بونيك ، ثم يكون حامض الكاربونيك مع المادة الخضراء مركباً إضافياً يسمى بحامض الكاربونيك الكلوروفيل Chlorophyll - carbonic acid .  
فأد ، وحرارة الكلوروفيل بالمر (س - مع ) فإننا نحصل على التفاعل الذي .  
تمثله المعادلة الآتية :



المرحلة الثانية : وفيها يحدث تفاعل ضوئي كيميائي ويتحول المركب الناتج إلى مركب فوق أكسيد غير ثابت يحتوي على قدر كبير من الطاقة ، ويسمى فوق أكسيد الفورمالدهيد الكلوروفيل .



المرحلة الثالثة : وفيها يتحلل هذا المركب ( فوق الأكسيد ) تحت تأثير العوامل البروتوبلازمية إلى الكلوروفيس والفورمالدهيد والأكسجين .



المرحلة الرابعة : وفيها يتكاثف جزيئات الفورمالدهيد مكونة جزيء سكر هكسوز .  
كذلك يد ك ك ك ك ك ك

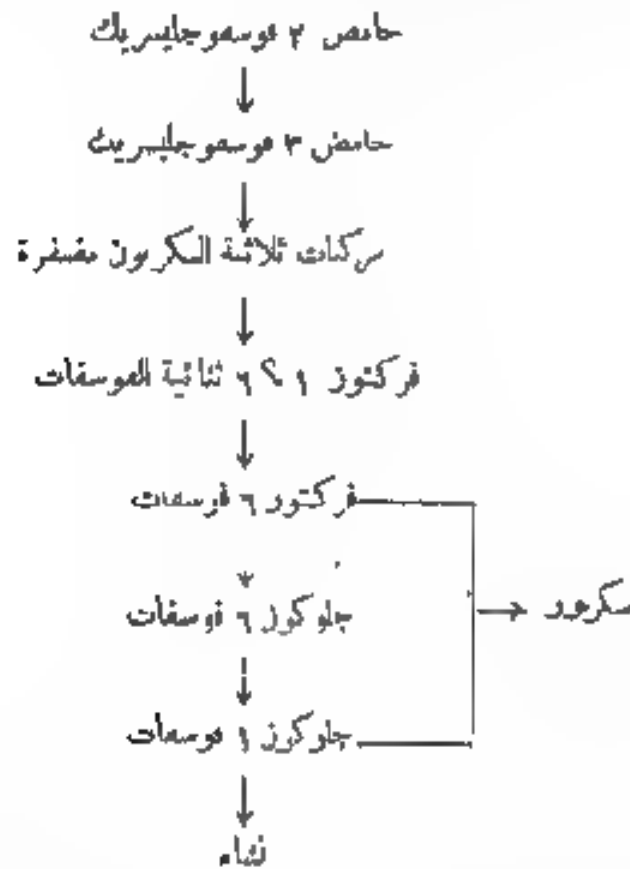
ويجدر ملاحظته أن نظرية الفورمالدهيد - حتى بعد ادخال التعديلات عليها - قد فقدت أهميتها الآن بعد الأبحاث الحديثة التي أثبتت تكون حامض العسوجليسريك كناتج وسطي للعملية وليس الفورمالدهيد .

من التجارب العديدة الحديثة ما أجراه Calvin & Benson (١٩٤٩-١٩٥٤) حيث عرضا خلايا نبات أحضر للضوء في غياب ثاني أكسيد الكربون لمدة معينة ثم نقلت هذه الخلايا إلى الظلام في جو يحتوي على ثاني أكسيد الكربون فظهر أن هذه الخلايا قد دكت من ثاني أكسيد الكربون والماء عدة مركبات عضوية تشبه المركبات التي بنتها نباتات المقارنة والتي كانت معرضة للضوء في وجود ثاني أكسيد الكربون . ومن هذه التجربة استنتج الباحثان أن المادة الخضراء في النبات يمكنها امتصاص الطاقة الضوئية التي تستعمل في تحليل الماء إلى عنصرية الهيدروجين والأكسجين هينطلق الأكسجين ( سواء وجد ك  $O_2$  أو لم يوجد ) ، أما الهيدروجين فيستهلكه مركب غير معروف بالتحية و يظل محتفظاً بنشاطه في الظلام لمدة محدودة عقب فترة تعريض الخلايا الخضراء للضوء . وبناء على ذلك إذا أعطيت مثل هذه الخلايا ثاني أكسيد الكربون سواء في أثناء التعرض للضوء أو في فترة الظلام التي تعقب الإضاءة فإن السكروز وبلاستيدات تقوم باحتزال ثاني أكسيد الكربون وادخاله في بنسائه الكربوهيدرات وغيرها من المواد العضوية .

وعندما أراد كلنس وبسون معرفة المركب العضوي الوسيط في عملية بناء الكربوهيدرات عرضا خلايا النبات الخضراء إلى الضوء لفترات متعاقبة في وجود ثاني أكسيد الكربون بحيث كان الكربون فيه من النوع النظير ( Isotope )  $^{14}C$  ثم حققا المركبات العضوية الناتجة من العملية ذات الكربون (  $^{14}C$  ) المشع وقد ظهر لها أن الخلايا الخضراء التي عرضت للضوء مدة دقيقة واحدة قد ركب بها عدداً كبيراً من مواد عضوية كربوهيدراية وأحماض أمينية أي أن عملية التركيب والبناء تمر بسرعة تمام كل ما يعرفه الكيمائيون من تفاعلات كيميائية ، الأمر الذي دعا هذان الباحثان إلى تفصيل مدة الإضاءة إلى خمس ثوان فقط وعند ذلك أمكنهما الحصول على

بعض النواتج العضوية الوسيطة في التفاعل وظهر لها أن ٨٧ ٪ من الكربون الممتص وجدت في مركب حامض الفوسفوجليريك ١٠ ٪ في حامض الفوسفوريك و ٣ ٪ في حامض الماليك وعلى ذلك استنتج العالمان أن حامض الفوسفوجليريك هو الناتج العضوي الأساسي في عملية البناء الكربوهيدراتي وبناء على ذلك اقترح كل من ويسون سير العملية على النحو الآتي :

يشكل حامض ٢ فوسفوجليريك من اتحاد ك<sup>١</sup> مع مركب عصري ثنائي الكربون مخزن بإيدروجين الماء المحلل في الضوء.



ولهذا الكشف العلى أحدث أهمية كبرى حيث أمكن بواسطة ربط عمليتي التنفس والبناء عن طريق هذا المركب الوسيطى (حامض الفوسفوجليريك) كما أنه أبدا أهمية عمليات الفسفرة في كافة التفاعلات الكيميائية محللات النبات

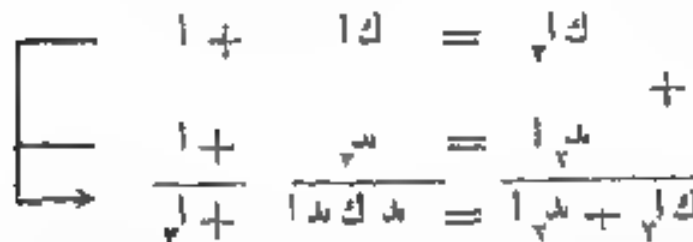


### مصدر الأكسجين الناتج من عملية البناء الكروماتيريائي :

يلاحظ أن الأبحاث الحديثة قد خلطت أيضاً بمصدر الأكسجين الناتج من عملية البناء الضوئي كما اقترح في النظريات القديمة السابق ذكرها ، وقد كانت المعادلات القديمة تشير إلى أن الأكسجين الناتج من عملية البناء الكروماتيريائي يأتي من مصدرين هما :

الأول . نصف جزئ الأكسجين يأتي من ثاني أكسيد الكربون .

الثاني . النصف الثاني يأتي من الماء حسب المعادلة البيانية التالية



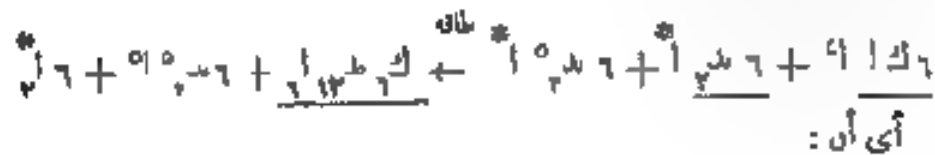
إلا أن التجارب الحديثة التي استعمل فيها الأكسجين الثقيل (  $^{18}O$  ) أثبتت خطأ هذا الاعتقاد . في إحدى التجارب وضعت خلايا طحلب الكلورولا *Chlorella* في محلول بيكربونات الصوديوم العادية مضافة في ماء غني بالأكسجين الثقيل ، ثم سلط الضوء على هذه الخلايا وجمع الأكسجين الناتج فأنبت تحليله أنه من النوع الثقيل فدل ذلك دالة واضحة على أن الأكسجين يأتي مباشرة من أكسجين الماء [ من نتائج تجارب Kamen ( ١٩٤٧ ) ] .

وفي تجربة أخرى كان فيها أكسجين الماء أكسجيناً عادياً بينما كان أكسجين ثاني أكسيد الكربون المستعمل من النوع الثقيل . فظهر أن غاز الأكسجين الناتج كان كله من نوع الأكسجين العادي .

من هذه التجارب ومن تجارب أخرى كثيرة ثبت بصفة قاطعة أن المعادلة التقليدية التي كانت تمثل عملية البناء الكروماتيريائي :



لا يمكن أن تكون صحيحة ولا تمثل حقيقة التفاعلات التي تحدث أثناء العملية إذ من الواضح أنه لكي ينتج ستة جزيئات من الأكسجين من ماء التفاعل يلزم استخدام ١٢ جزيء من الماء بدلا من الستة المستعملة في المعادلة القديمة كما ظهر أيضاً أن الأكسجين الناتج من اختزال ثاني أكسيد الكربون يتحد مع الأندروجين المتبقى من تحلل جزيئات الماء التي ريدت . وبذلك تصبح المعادلة الصحيحة التي تمثل واقع التفاعل الكيماوى كالآتي .



معدل عملية البناء الضوئي :

من المعلوم أن النبات الأخضر يقوم باستخدام ثاني أكسيد الكربون في عملية البناء الكربوايدراتي في الضوء وهو في نفس الوقت يهدم جزءاً من محتواه الكربوايدراتي في عملية التنفس ويخرج نتيجة ذلك غاز ثاني أكسيد الكربون ، وهذا يستعمل بدوره في عملية البناء الضوئي . لذلك فإنه لتقدير معدل عملية البناء الضوئي الحقيقي يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار معدل التنفس بالإضافة إلى ما قد يستفنه النبات الأخضر من ثاني أكسيد الكربون الجوي وبناء على ذلك يكون لدينا معدلان لعملية البناء الضوئي : الأول معدل البناء الظاهري وهو الناتج الظاهر نتيجة لتبادل الغازات بين النبات والوسط المحيط به ، والثاني وهو معدل البناء الحقيقي وهذا يشمل الأول مضافاً إليه معدل التنفس ( عملية الهدم ) .

طرق قياس معدل البناء الكربوايدراتي الظاهري :

يمكن نفعم الطرق التي تستعمل في قياس معدل البناء الكربوايدراتي على ثلاثة طرق هي :

( ١ ) تقدير ك إه المستعمل .

( ٢ ) تقدير الأكسجين المنطلق

( ٣ ) تقدير الزيادة في الوزن الجاف للنسيج النباتي .

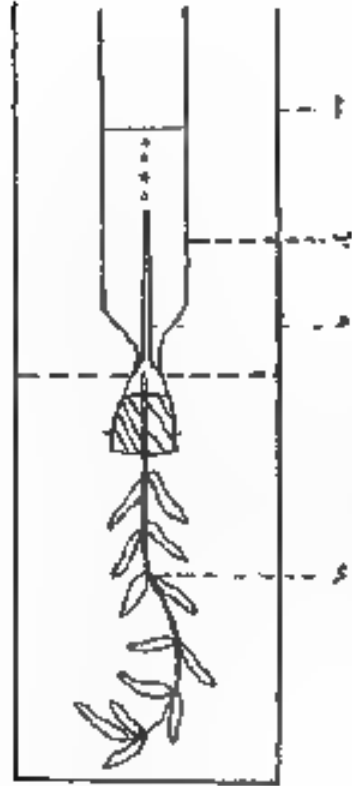
( ١ ) تقدير ك إه المستعمل :

يستخدم في هذا التقدير الطريقة المعروفة بطريقة « التيار الهوائي المستمر » ، وتتلخص الطريقة في وضع الأطراف السمل للنباتات المستعملة في الماء حتى لا يتبدل ثم توصع في إناء محكم ويمرر على النباتات تيار هوائي يحتوي على نسبة معروفة من ك إه بعد أن تضاء النباتات ، ثم يمرر الهواء الناتج في أنابيب خاصة لامتصاص ك إه المتبقي . وبعد معرفة درجة تركيز ك إه المستعمل وكذلك حجمه فإنه يمكن إيجاد السمية التي أسهمت منه .

( ٢ ) تقدير إه المنطلق

من المعروف أنه إذا وضعت سيقان بعض النباتات المائية كالالوديا في الماء الذي يحتوي على قليل من بيكربونات الصوديوم ( مصدر لعاز ك إه ) وعرض لضوء الشمس أو لضوء صناعي فإنه يشاهد في الحال خروج فقاعات الغاز من أطراف الأفرع المنطوعة ويكون خروج هذه الفقاعات على شكل تيار مستمر . ومن الملاحظ أن فقاعات الغاز الأولى تتكون طاعة من الهواء الذي كان يملأ المسافات البينية وقد أخرج منها ليحل محله الأكسجين الناتج من عملية التمثيل الكربوني وبالتالي تزداد نسبة الأكسجين في فقاعات الغاز المنطلقة حتى تصبح كلها من الأكسجين الناتج من العملية . فإذا جمعت هذه الفقاعات واحبر هذا الغاز فإن الاحتار يدل على أنه غاز الأكسجين ، وإذا صنعت المقاعد المتصاعدة في وحدة الزمن أمكن اتخاذ هذه الطريقة « طريقة عد الفقاعات » أساساً لقياس معدل البناء الضوئي إلا أن المقاعد المتصاعدة لا تكون في حجم واحد ولا تنطلق بسرعة واحدة نظراً لاختلاف قطر الساق المستعملة في النباتات المختلفة كما أن حجم الفقاعات يتأثر بدرجة كبيرة بالصخط الأزموزي والتوتر السطحي للحلول الخارجية .

وقد قام Wilmott (١٩٢١) بإدخال تعديل على هذه الطريقة العرس منه صعد



( شكل ٣٢ )

جهاز Wilmott لحد الغطاء

( أ ) الوعاء الزجاجي المستعمل  
في التجربة

( ب ) كأس زجاجي مملوء بالماء  
القطر

( ج ) أنبوبة القصاصات

( د ) النبات لتأثير المستعمل

حجم الغطاءات وإبعاد تأثير المحلول الخارجى عليها وذلك بأن نكت على السطح المقطوع من النبات أنبوبة زجاجية ذات نهاية مديّة لتحدد حجم فقاعة الغاز مهما اختلف قطر الساق المستعملة ثم احاطة العرس المدبب لهذه الأنبوبة بكأس زجاجية مملوءة بالماء ليقطر ( شكل ٣٢ ) وقد نصح باشاع الماء المحيط بالنبات بعار الأكسجين قبل التجربة لمنع احتمال خربان أى جزء من الأكسجين المنطلق من العملية (٣) تقدير الزيادة في الوزن الجاف للنسيج المتبقى.

هذه الطريقة مبنية على أن الوزن الجاف للنسيج المتبقى الذى يقوم بعملية البناء الكربوهيدراتى يزداد نتيجة لتكوين بعض نواتج العملية وتراكبها والطريقة أن تؤخذ مساحات معينة ثابتة من الأوراق التى تركت معرضة لضوء الشمس على فترات زمنية مختلفة . وتفسد الزيادة في وزنها الجاف بالنسبة إلى وزنها الجاف الاصلى

العوامل التى تؤثر في معدل عملية البناء

الكربوهيدراتى :

أولاً : العوامل الخارجية وتشمل .

- |                    |                              |
|--------------------|------------------------------|
| ( ١ ) تركيز $CO_2$ | ( ٢ ) شدة الإضاءة            |
| ( ٣ ) درجة الحرارة | ( ٤ ) الماء                  |
| ( ٥ ) نقص التغذية  | ( ٦ ) تأثير السموم والمخدرات |

ثانياً : العوامل الداخلية وتشمل :

- ( ١ ) المحتوى السكولوجي وفيلل النسيج  
( ٢ ) العامل البويوتوبلازمي  
( ٣ ) تراكم نواتج البناء الضوئي .

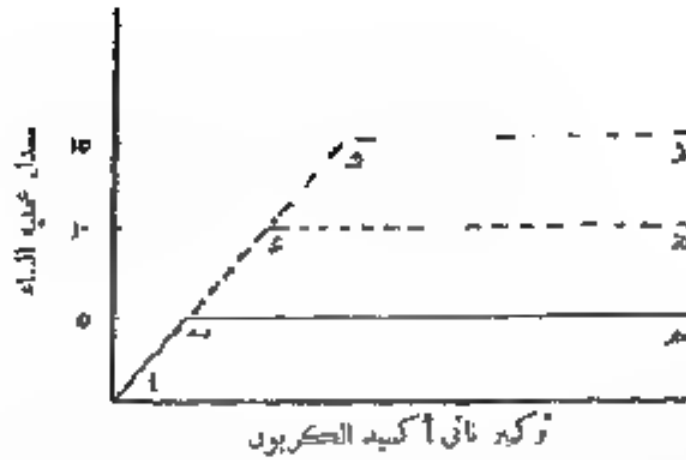
نظرية العوامل المحددة The theory of limiting Factors

في عام ( ١٩٠٥ ) وضع بلاكمان P. F. Blackman نظرية العوامل المحددة .  
ومؤدى هذه النظرية أنه عند دراسة ظاهرة من الظواهر أو عملية من العمليات كعملية  
البناء الضوئي والتي يؤثر فيها عوامل كثيرة لمعرفة مدى تأثير أحد هذه العوامل، فإنه  
يجب عدم إهمال العوامل الأخرى وإلا كانت النتائج غير صحيحة .  
ونعني بنظرية العوامل المحددة على أن العملية التي ترتبط بسرعة سيرها بعوامل  
أخرى متعددة، فإن سرعة العملية تتحدد بأبطأ هذه العوامل والمثل الآخر يفسر هذه  
النظرية .

إذا أضيت ورقة نباتية لإضاءة كافية لتحصل على الطاقة اللازمة لاستهلاك ٥ سم<sup>٢</sup>  
من ك<sup>١</sup> في عدة ساعة ، وأعطى للورقة ١ سم<sup>٢</sup> فقط من غاز ثاني أكسيد الكربون  
فإن الطاقة في هذه الحالة تتكون أكثر من اللازم لاستهلاك ثاني أكسيد الكربون  
وبالمثل إذا زيد حجم الغاز إلى ٤ سم<sup>٢</sup> فإن الطاقة الضوئية لم تزل أكثر من اللازم  
لاستهلاك هذا الحجم من الغاز ويكون العامل المحدد حتى الآن في معدل العملية هو  
ركيز ك<sup>١</sup> . فإذا زيد الغاز إلى ٥ سم<sup>٢</sup> فإن الطاقة الضوئية ستكون كافية تماماً لاستهلاك  
ثاني أكسيد الكربون المستعمل

فإذا زيد الغاز عن ٥ سم<sup>٢</sup> فإن معدل العملية لا يزداد لأن الضوء أصبح هو العامل  
المحدد الجديد لمعدل العملية ويمكن إظهار هذه العلاقة في المنحنى ١ ب ح من الرسم  
البياني التالي ( شكل ٣٣ )

فإذا ما ردت شدة الإضاءة فإن ذلك يساعد على استهلاك كمية أخرى من ك<sup>١</sup>  
و يزداد تبعاً لذلك معدل عملية البناء الضوئي إلى أن يصبح الضوء هو العامل المحدد مرة  
أخرى كما يظهر ذلك من المنحنيين ١ د و ١ هـ و ١ ز من نفس الشكل .



( شكل ٣٣ ) رسم بياني يوضح نظرية العوامل المحددة كما أوضحها مالاكان  
من ذلك يتضح أنه عند دراسة تأثير تركيز  $CO_2$  في معدل عملية البناء الضوئي  
فإنه يجب وضع عامل الضوء موضع الاعتبار ، وبالتالي جميع العوامل الأخرى .

#### العوامل الخارجية :

##### ( ١ ) تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون حول النبات :

يوجد ثاني أكسيد الكربون في الهواء الجوي بتركيز ٠.٣ ٪ بالحجم وهذه  
النسبة الضئيلة كافية تماماً لعملية التمثيل الكربوني في جميع النباتات الخضراء ورغم  
أنها المصدر الوحيد لاستهلاك هذه النباتات ، إلا أن نسبتها دائماً ثابتة لأنه يعوض  
دائماً بما ينتج منه من تنفس الكائنات الحية ، وما يخرج من فوهات البراكين ،  
ومن عمليات الاحتراق المختلفة ، ومن تحمل بعض المواد العضوية .  
وتحصل النباتات المائية على ما يلزمها من هذا الغاز إما على صورة دائمة في الماء  
أو من محلول بيكربونات الصوديوم أو البوتاسيوم .

وبزيادة تركيز  $CO_2$  حول النبات يزداد معدل عملية البناء الضوئي إلى أن يصل  
تركيزه إلى ١٥ ٪ ، فإذا زاد التركيز عن هذه النسبة ، فإن معدل العملية يأخذ في  
التناقص نظراً إلى التأثير السام لهذه التركيزات العالية على البروتينات

## ( ٢ ) شدة الإضاءة :

يزداد معدل عملية البناء الضوئي بازدياد شدة الإضاءة حتى إذا ما جاوزت الإضاءة ضوء الشمس ، تأثرت العملية وانخفض معدلها نظراً لما يلحق البروتو بلازم والماتة الخضراء من الضرر تحت تأثير الإضاءة الشديدة.

وقد ظهر من تجارب Ursprung (١٩١٧) أن الأوراق الخضراء لا تتحمل الإضاءة المستمرة ففي إحدى التجارب عرضت أوراق نبات العاصوليا لضوء الشمس مدة ٩ ساعات متوالية فزاد المحتوى النشوي للأوراق زيادة كبيرة ، ولكن عندما عرضت مدة ٩ ساعات قلت نسبة النشاء فيها كثيراً . ويظهر من ذلك أن استمرار تعريض الأوراق للضوء لفترات طويلة يعطل تكوين النشاء وقد يعمل على تحلل الموجود منه في الأوراق . وتعرف هذه الظاهرة بالتأثير الشمسي Solarization .

وتتأثر نباتات الظل بشدة الإضاءة تأثيراً كبيراً . فمن الملاحظ بها أن معدل عملية البناء الضوئي يزداد كلما زادت الإضاءة إلى أن تصبح ، من شدة إضاءة الشمس وبعد ذلك تأخذ في الانخفاض إذا زادت شدة الإضاءة عن هذا القدر .

و للإضاءة المتقطعة تأثير كبير على معدل العملية . فقد أجرى Warburg (١٩١٩) تجارب على هذا النوع من الإضاءة مستخدماً خلايا طحلب السكوريلا واستخدم قرصاً معدنياً مشقياً يدور أمام مصدر ضوئي لإحداث هذه الإضاءة المتقطعة وفاز تأثير تعريض خلايا الطحلب لفترات صوتية متساوية من إضاءة عادية وإضاءة متقطعة . ولاحظ أن معدل البناء عند استعمال الإضاءة المتقطعة كان أكبر كثيراً منه عند استعمال الإضاءة المستمرة وأن الفرق بين المعدلين يقل كثيراً كلما نقصت شدة الضوء المستعمل وقد حل هذه الظاهرة أنه أثناء فترة الظلام ، يستمر ثاني أكسيد الكربون في التحول ويتراكم داخل الخلية ، وفي نهاية فترة الظلام يكون قد تراكم منه كمية كبيرة ، وعند حلول فترة الإضاءة يزداد معدل العملية لزيادة تركيز  $CO_2$  الأمر الذي لا يحدث في الإضاءة المستمرة نظراً لاستهلاك  $CO_2$  أولاً بأول في العملية .

ولا أن البحوث الحديثة قد أثبتت بصفة قاطعة أن خلايا النبات الأخضر تنتمي  
المركبات العضوية من ك<sub>١</sub> في أثناء تعرضها لغرتق الضوء والظلام المتعاقبتين في  
تجربة الإضاءة المتقطعة .

ولطول الموجة الصوتية تأثير كبير على معدل عمية البناء الصوتي فقد وجد  
Warburg ( ١٩٢٣ ) و Stiles ( ١٩٢٥ ) أن العمية تبلغ أقصاها في الضوء الأحمر  
( وهو أطول أمواج الطيف المرئي ) وتقل في الضوء الأزرق والبنفسجي ( وهي  
أقصاها ) بينما لا تسلك تحدث في الضوء الأصفر ذي الموجة متوسطة الطول .

### (٣) درجة الحرارة :

من المعروف أن روع درجة الحرارة ١٠ درجات مئوية تزيد من سرعة التفاعل  
الكيميائي مرتين أو ثلاث مرات . أما التفاعلات الطبيعية فبزيد معدلا ١,٢ — ١,٣  
مرة بينما يزداد معدل التفاعلات الصوتية ١,٤ مرة ، وقد لا تزداد عن الوحدة .  
وتسمى هذه العلاقة بالمعامل الحراري . وحيث أن عمية البناء الصوتي عملية صوتية  
فإنه من المتظر أن تخضع لقوانين التفاعلات الصوتية . ولكن يؤخذ من النتائج  
التي أجراها F. F. Blackman ومساعدوه ( ١٩٠٤ — ١٩٠٥ — ١٩١١ ) أن  
المعامل الحراري لبعض النباتات يتراوح بين ٢,٠٥ و ٢,٥٠ .

وقد فسر بلاكان هذه النتائج بأن احرص أن عملية البناء الصوتي لها طوران على  
الأقل . الطور الأول هو تفاعل صوتي ويتضمن امتصاص الضوء ، والطور الثاني  
هو تفاعل كيميائي يحدث في الظلام . وقد أطلق على الطور الثاني « تفاعل الظلام »  
Dark reaction أو « تفاعل بلاكان » Blackman reaction نسبة إلى مكتشفه .  
فكما تكون الاضاءة قليلة ومحددة للعملة فإن درجة الحرارة لا يكون لها تأثير  
على معدل عملية البناء الصوتي ( لأن المعامل الحراري للتفاعلات الصوتية هو  
١ — ١,٤ ) . أما عندما تتوفر الاضاءة وثاني أكسيد الكربون . فإن درجة الحرارة  
تزيد من معدل الظلام وبذا يزداد المعامل الحراري المميز للتفاعلات الكيميائية .



ويجب أن يلاحظ أن زيادة تعرض النباتات لدرجات مرتفعة من الحرارة يؤدي حتماً إلى الإضرار بالبروتوبلازم ويخفض معدل عمليه البناء الضوئي سريعاً .

#### (٤) الماء :

يدخل الماء في تكوين جزئ السكر وايدرات باتحاده مع ثاني أكسيد الكربون . والماء فائتة أخرى تدير مباشرة لأنه يعمل على امتلاء الخلايا فتظل الثمر مفتوحة و يدخل منها ثاني أكسيد الكربون وبذلك تستمر عملية التمثيل . وقد وجد Thoday ( ١٩١٠ ) أن هناك علاقة وثيقة بين معدل عملية البناء الضوئي ودرجة امتلاء الخلايا في أوراق نبات عباد الشمس .

والجدول التالي يبين هذه العلاقة :

حالة الأوراق	معدل عمليه البناء الضوئي بالمليجرامات للديسيمتر المربع في الساعة
متلثة	١٦,١
متلثة نوعاً	١٢,٤
عادية	٨,٥
ماتلة للإرتواء	٥,٢
مرنجية	١,٦

وقد عمل هذا النقص في معدل عمليه البناء كلما نقص امتلاء خلايا الورقة بعمل ثمر الأوراق بدرجات متفاوتة تبعاً لدرجة امتلاء الخلايا بالماء .

#### (٥) نقص التغذية :

درس Briggs ( ١٩٢٢ ) تأثير نقص العناصر الغذائية على معدل عملية البناء الضوئي وأثبت أن معدل عمليه البناء في ساعات الفاصلياً منخفضة التغذية كان أقل منه

في الثمانيات كاملة التغذية . وقد حصل كثيرون على نتائج مشابهة . Gregory and Richards ( ١٩٢٩ ) — Richards ( ١٩٣٢ ) — Gregory ( ١٩٣٧ ) .  
(٦) بأثير السموم والمخدرات :

عند تمرير السموم والمواد السامة والمخدرات ( كالأنثر والسكلوروفوم ) تركيزات ضئيلة ، فإن معدل عملية البناء الضوئي يقل ، ولكن عند إبعاد تأثيرها فإن عملية البناء تعود إلى حالتها الطبيعية . أما إذا عرّضت النباتات لتركيزات شديدة ولو لفترة قصيرة فإن ذلك يؤدي إلى موت الخلايا النامية ويوقف عملية التمثيل تماماً ولا يمكن شفاؤها . وليس هناك أي دليل على أن للمخدرات والسموم مهما كان تركيزها ضئيلاً تأثيراً منقطعاً على عملية البناء الضوئي .

#### العوامل المرافقية .

(١) المحتوى السكلوروفيلي للنسيج .

يعتبر السكلوروفيل من أهم العوامل التي تؤثر في معدل عملية البناء الضوئي ولا تتم هذه العملية إلا في الأجزاء الخضراء من النباتات . أما الأجزاء الخالية من السكلوروفيل فلا يمكنها أن تمثل وإن وجد بها بعض نواتج العملية ، إلا أن ذلك يرجع إلى انتقال نواتج العملية إليها لمرور التحريش كما في كثير من الجنود والسوق الدورية كالبطاطس والبطاطس على الترتيب

وليس من السهل دراسة هذا العامل كالعوامل الأخرى الخارجية ، لأنه من الممكن التحكم في العوامل الأخيرة . أما هذا العامل فليس من السهل التحكم فيه لوجود المادة الخضراء داخل خلايا الورقة إلا في بعض الحالات الخاصة التي تكون فيها المادة الخضراء تدريجياً . مثلاً إذا حفظت نباتات في الظلام مدة كافية فإن سيقانها تستطيل ويقل محتري الخلايا من المادة الخضراء . فإذا عرّضت هذه النباتات للضوء فإن المادة الخضراء تأخذ في الزيادة في الخلايا الممرضة للضوء تدريجياً . وعندئذ يمكن دراسة تأثير هذا العامل . فإذا كان تركيز السكلوروفيل هو العامل المحدد للعملية فإنه من

انتظر زيادة معدل عملية البناء كلما زاد محتوى الخلايا من المادة المحصره إلى أن يحدد العملية عامل آخر .

وقد درست Miss Irving ( ١٩١٠ ) هذه العلاقة على البادرات الخالية من المادة المحصره نتيجة لبقائها في الظلام Etiolated seedlings للشعير والمول ، ووجدت أن هذه البادرات ليست لها القدرة على البناء الصوتي حتى بعد تعريضها للضوء مدة كافية ليزداد محتواها الكلوروفيل . وقد صلت هذه النتائج بأن إعادة الحصر عند بدء تكوينها لا تكون العامل المحدد وإنما هناك عامل آخر هو الذي يحدد العملية ، وقد أطلقت على هذا العامل « العامل البروتوبلازمي » Protoplasmic factor وهذا الأخير لا يتم تكوينه إلا بعد تكوين الكلوروفيل . وعندئذ فقط تتناسب عملية البناء الصوتي طردياً مع تركيز المادة المحصره .

والنباتات الأرضية ذات الأوراق الملونة وكذلك الطلحات الحمراء والبنية القادرة على القيام بعملية البناء الصوتي نظراً لاحتوائها على الأخرى على المادة المحصره مستقره تحت الأصباغ الأخرى فإذا أعطت النباتات الحمراء ثبات مدت الفصل Euphorbia بعد تعريضها للضوء مدة كافية ثم وضعت في ماء يعلى لمضغ دقائق لقتل البروتوبلازم واستخلاص المادة الملونة الحمراء ، فإنك تلاحظ ظهور اللون الأحمر في الأوراق بعد إزالة الصبغة الحمراء . فإذا ما أجرى على الورقة اختبار التئسب باليود ، تلاحظ اصباغها باللون الأزرق دليلاً على أنها قامت بعملية البناء الصوتي .

#### ( ٢ ) العامل البروتوبلازمي :

سبق الإشارة إلى هذا العامل عند دراسة محتوى الكلوروفيل للنبات وليس من السهل معرفة أو دراسة هذا العامل ويرى W. Ishtar & Stoll أن هذا العامل ذو طبيعة أنزيمية .

#### ( ٣ ) تراكم ناتج عمية البناء الصوتي :

بناء على قانون فعل الكتلة ، فإن استمرار عمية البناء الصوتي لمدة طويلة يؤدي

إلى تراكم نواتج العملية في الخلايا الممتلئة ويأتي الوقت الذي تقف فيه العملية تماماً  
دعم توفر جميع العوامل الأخرى ، وهذا هو الملاحظ دائماً في النباتات التي تختزن  
في أجزائها الحصرية نواتج عملية البناء الصوئي على هيئة سكريات كالقصب . فإن  
معنى عملية البناء بها تكون أقل من الأخرى التي تختزن هذه النواتج على شكل نشاء .  
ذلك لأنه في النوع الأخير من النباتات ( معظم ذات الفلقتين ) عندما يصل تركيز  
السكر بها درجة معينة فإنه يشكاثف إلى نشاء . وحيث أن هذا الأخير مركب  
غير ذائب . فإن نواتج عملية الساء الصوئي تبعد أول بأول من وسط التفاعل ويصبح  
تركزهما كسكريات قليلاً مما يؤدي إلى استمرار العملية الأمر الذي لا يحدث للنوع  
الأول من النباتات ( معظم ذات الفلقة الواحدة ) إذ ليس من المألوف تكوير النشاء  
في أوراقها

### نتاج عملية التمثيل الصوئي

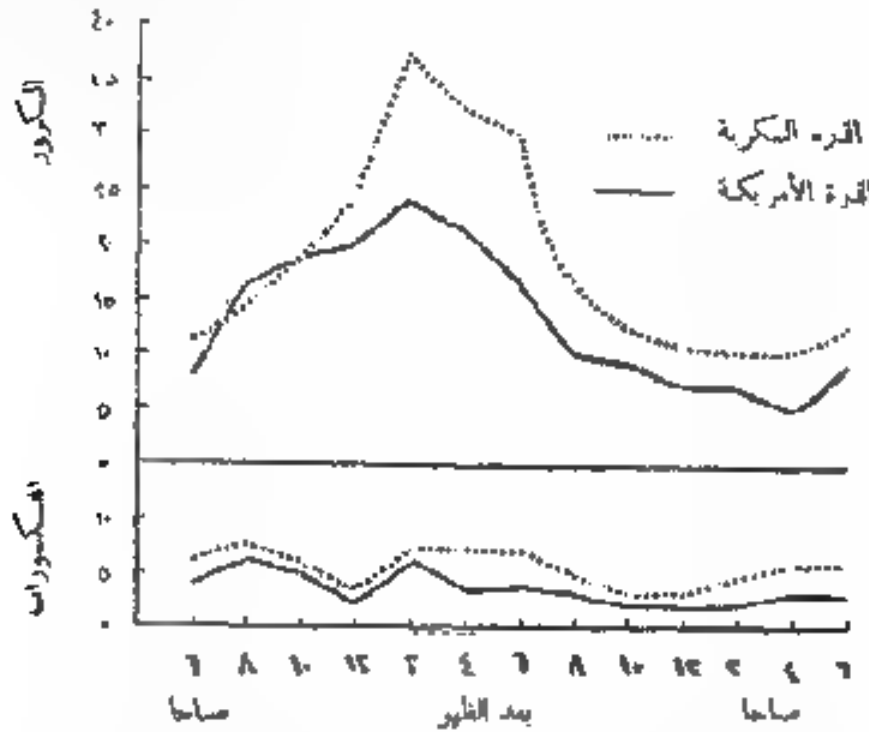
كك Sachs ( ١٨٦٢ ) أول القائلين بأن النشاء هو الناتج الكربوهيدراتي المباشر  
لمسبب التمثيل الضوئي . وأنه عند تمرير نبتات اللصوة فإنها تقوم باختران ثاني  
أكسيد الكربون في الخلايا الخضراء وتنتج مادة عسوية هي النشاء . وأن النشاء هو  
نقطة البداية ومنه تكون المواد العسوية الأخرى كالبروتينات والدهون بعد حدوث  
سلسلة من التفاعلات المختلفة .

وفي عام ( ١٨٨٥ ) جمع Meyer أوراق النباتات المختلفة وأجرى عليها اختار  
اليود لاختار وجرد النشاء ، فلاحظ أن نباتات ذات الفلقة الواحدة لا يتكون النشاء  
في أوراقها بينما اختزن أوراق نباتات ذات الفلقتين على كمية من النشاء نتيجة لعملية  
التمثيل الضوئي . وقد أوضحت هذه التجارب أن النشاء لا يمكن أن يكون الناتج  
الأول لعملية التمثيل الصوئي . وقد سميت الأوراق التي لا تتكون النشاء بالأوراق  
المكرية ، بينما سميت الأوراق التي تتكون النشاء بالأوراق النشوية  
وتحتوي أوراق النباتات على ثلاثة أنواع من السكريات هي سكر الجلوكوز

وسكر المركنود وهي سكريات أحادية (ك<sub>٦</sub> مد<sub>١٢</sub> أ<sub>٦</sub>) ، وسكر القصب هو سكر ثنائي (ك<sub>١٢</sub> مد<sub>٢٢</sub> أ<sub>١٢</sub>) -

وعندما حلت الأوراق النباتية أثناء عملية التمثيل في ساعات النهار المختلفة ، لوحظ أن محتواها من السكريات الأحادية يظل ثابتاً تقريباً طوال ساعات النهار ، بينما يتغير محتواها من سكر القصب بزيادة تركيزه باطراد عملية التمثيل الضوئي (شكل ٢٤) .

وقد درس المحص هذه النتائج بأن سكر القصب لا بد أن يكون الناتج الأول لعملية التمثيل الضوئي بدليل تغير تركيزه بتغير ساعات النهار ، ورأى آخرون أن الناتج الأول للعملية هو السكريات الأحادية . وأن تركيزها في الأوراق يظل ثابتاً وأنها تتركز



( شكل ٢٤ )

التغيرات اليومية في محتوى أوراق القدر السكرية والقدر الأمربكة من المكسورات والسكر  
بالطعام لكل دف مساح من الأوراق ( عن Miller )

منها يفتى إلى سكر القصب ومن هنا جاءت الزيادة في هذا السكر باطراد هائلة التمثيل الصوتي .

وليس من السهل إثبات أى السكريات تتكون في الأوراق نتيجة لعملية التمثيل الصوتي . وقد درست Mrs. Oatlow ( ١٩٣١ ) كل ما يتصل من أبحاث في هذا الموضوع وخلصت إلى أن الناتج الأول لعملية التمثيل الصوتي ليس سكرًا أحاديًا ، بل هو سكر أسادي من نوع الجاما ( الفورانوز Furanose ) وهذا الأخير نشط جداً ومنه تتصح السكريات الأحادية العادية والسكرور والذئاء .

على أنه سبق الإشارة إلى الأبحاث الحديثة التي أجراها كلن ويسور ( ١٩٤٩ - ١٩٥٤ ) ( ص ١٤٥ ) ، والتي أثبتت بصمة فاطمة أن أول سكر بني يظهر نتيجة لعملية التمثيل الصوتي في خلايا الذبذبات الأخضر هو سكر القصب ( السكرور ) ومنه ينتج سكرى الجلوكوز والفركتوز . وبما يجدر الإشارة إليه هنا أن تكوين سكر القصب بالخلايا يسبق ظهور مركب دوسفات الجلوكور وفوسفات الفركتوز : وعند تكاثف هذين المركبين ينتج سكر القصب وتنطلق الفوسفات لفسفرة مركبات أخرى بالخلية .

### السكريات المتعددة :

أهم ما يوجد من هذه السكريات في الخلية النباتية هو سكر الجلوكوز وسكر الفركتوز وسكر المانوز وسكر الجالكتوز ( ك٣ مد ١٣ ) . والسكران الآخران ( المانور والجالكتور ) لا يوجدان على حالة مفردة في الخلايا النباتية ولكنهما يدخلان في تركيب مركبات كبريتيد راتبة معقدة مثل الهيستولور والكتينات وغيرها . ويحتوي جريء هذه السكريات على ٦ ذرات من الكربون أحدها الحديدية ( ك٤ د ١ ) وتوجد في سكر الجلوكوز والمانوز والجالكتوز ، أو تكون كيتونية ( ك٤ د ١ ) وتوجد في سكر الفركتوز . هذه المجموعات الألدهيدية والسكثوية نشطة جداً وهي التي تسبب احتراق هذه السكريات لمحاول هلتج وتكون الأوروزونات . ونظراً



من هذه التركيبات يلاحظ أن الفرق بين السكريات الألدهيدية ( الجلوكوز والمانوز والجلكتوز ) إنما هو نتيجة وضع مجموعات الأيدروكس والايديوجين على الأسطح المختلفة بالنسبة للكربون في الجزيء .

### السكريات الثنائية :

تتكون السكريات الثنائية نتيجة لاتحاد جزيئين من السكريات الأحادية سواء كان الاتحاد بين جزيئين من نوع واحد أو من نوعين مختلفين . ويحدث الاتحاد بمساعدة أريم خاص مع استخلاص جزيء من الماء :

أرم



فتتكون سكر القصب باتحاد جزيء من الجلوكوز مع جزيء من الفركتوز عن طريق المجموعة الألدهيدية في جزيء الجلوكوز والمجموعة الكيتونية في جزيء الفركتوز .  
لذلك كان هذا السكر غير مختزل .

أما جزيء سكر الشعير ( المالتوز ) فيتكون باتحاد جزيئين من سكر الجلوكوز عن طريق المجموعة الألدهيدية في أحدهما ومجموعة هيدروكسيلية في الأخرى . وعلى ذلك تبقى المجموعة الأخرى الألدهيدية في الجزيء الثاني حرة . وهذا هو السبب في أن سكر الشعير من السكريات المختزلة . وليس من الثابت وجود سكر الشعير بحالة حرة في الخلية النباتية ، ولكن مما لا شك فيه أن وجوده ضروري كخطوة وسطية بين الجلوكوز والنشاء .

### السكريات الثلاثية :

أهمها سكر الزينور . ويكثر في بدور العطن والشعير والبنجر . وينتج من تكاثف ثلاثة سكريات أحادية هي الجلوكتوز والجلوكوز والفركتوز باستخلاص جزيئين من الماء .



أنتم  

$$١٦٧ \text{ م.} + ١٦٨ \text{ م.} + ١٦٩ \text{ م.} + ١٧٠ \text{ م.} + ١٧١ \text{ م.} + ١٧٢ \text{ م.} + ١٧٣ \text{ م.} + ١٧٤ \text{ م.} + ١٧٥ \text{ م.} + ١٧٦ \text{ م.} + ١٧٧ \text{ م.} + ١٧٨ \text{ م.} + ١٧٩ \text{ م.} + ١٨٠ \text{ م.} + ١٨١ \text{ م.} + ١٨٢ \text{ م.} + ١٨٣ \text{ م.} + ١٨٤ \text{ م.} + ١٨٥ \text{ م.} + ١٨٦ \text{ م.} + ١٨٧ \text{ م.} + ١٨٨ \text{ م.} + ١٨٩ \text{ م.} + ١٩٠ \text{ م.} + ١٩١ \text{ م.} + ١٩٢ \text{ م.} + ١٩٣ \text{ م.} + ١٩٤ \text{ م.} + ١٩٥ \text{ م.} + ١٩٦ \text{ م.} + ١٩٧ \text{ م.} + ١٩٨ \text{ م.} + ١٩٩ \text{ م.} + ٢٠٠ \text{ م.}$$
  
 وهذا السكر غير مختل نظراً لاشتراك المجموعات الألفيدية والكيتوبية في عمليات التكاثف.

### السكريات عديدة التكاثف:

النشاء . وهو أكثر المركبات السكرية شيوعاً في النباتات، ويوجد في كثير من الحبوب والبقول والجلودور والسوق الدرنية، وهو على العموم يكثر في أمكن الأدهار.

ويحتل النشاء حاداً في البلاستيدات عديدة اللون، يبدأ بالظهور في الجوف البلاستيدية على شكل نواة صغيرة تعرف بالسرة Hylum ثم يتراكم على هذه السرة طبقات متتابعة من النشاء تزداد في السمك فتصطب على جدار البلاستيدية الذي يمتد ليسار الرية في حجم حبة النشاء ويظل مغلفاً لها.

وتبدأ عملية بناء النشاء من تكاثف جزئين من سكر الجلوكوز مكوناً سكر المالتوز الذي يتكاثف ليسكون سلسلة متشعبة عديدة التسكر هي النشاء، كل شعبة مكونة من ٢٥ - ٣٠ جزئ. من الألفا جلوكوز متصلة ببعضها بنوع النظام الذي تتحد به في سكر المالتوز أي أن المجموعة الألفيدية (رقم ١) في جزئ جلوكوز متحدة بالمجموعة الهيدروكسيلية (رقم ٤) في جزئ الجلوكوز الآخر وهكذا.

السيولوز: يتكون جزئ، السليولوز من تكاثف عدد كبير من جزيئات اليشا جلوكوز يفوق كثيراً العدد الذي يشارك في تكوين جزيء النشاء، ويمتد سكر السليولوز (١٦٧ م. ١٦٨ م. ١٦٩ م. ١٧٠ م. ١٧١ م. ١٧٢ م. ١٧٣ م. ١٧٤ م. ١٧٥ م. ١٧٦ م. ١٧٧ م. ١٧٨ م. ١٧٩ م. ١٨٠ م. ١٨١ م. ١٨٢ م. ١٨٣ م. ١٨٤ م. ١٨٥ م. ١٨٦ م. ١٨٧ م. ١٨٨ م. ١٨٩ م. ١٩٠ م. ١٩١ م. ١٩٢ م. ١٩٣ م. ١٩٤ م. ١٩٥ م. ١٩٦ م. ١٩٧ م. ١٩٨ م. ١٩٩ م. ٢٠٠ م.) هو الناتج الوسيط بين جزيئات اليشا جلوكوز وجزئ، السليولوز. وتصل بعضها بالوضع (١ - ٤) السابق الإشارة إليه.

والسيولوز من النواتج الهامة لعملية التمثيل الضوئي إذ منه يكون هيكل النبات. وتتكون شجرة القطن من السليولوز النقي وقد يرجد خطأ بمادة البنين في أوعية الخشب.

وجدير بالذكر هنا أن الطعيسليوود لدى يكثر وجوده في جنين القمح والبس  
والسلح كغذاء مدحر لا علاقة له بالسيسوود إذ أن تركيبهما مختلف تمام الاختلاف .

### تكوين النشاء .

وإنما سبق أن الناتج الأول لعملية التمثيل الضوئي هو نوع من السكريات ،  
وإن النشاء يسكو كنتاج ثانوي للعملية . ويتحول السكر إلى نشاء أو العكس داخل  
خلايا النباتات بسرعة كبيرة .

في عام ( ١٨٨٥ ) قام Meyer بتغذية بعض الأوراق بحاليل سكرية مختلفة ثم  
اختبر للنشاء بعد مدة من الزمن ، فلاحظ أن الأوراق التي غذيت بمحلول مسكر  
القصص احتوت على نسبة من النشاء أصلاً من تلك التي غذيت بمحلول سكر الجلوكوز .  
وقد أبدت التجارب التي قلتها نتائج «ماير» ، مع أنه كان من المنتظر أن تنبئ الأوراق  
للغذاء بسكر الجلوكوز كمية أكبر من النشاء حيث أن جزيئه يسكو من الجلوكوز .

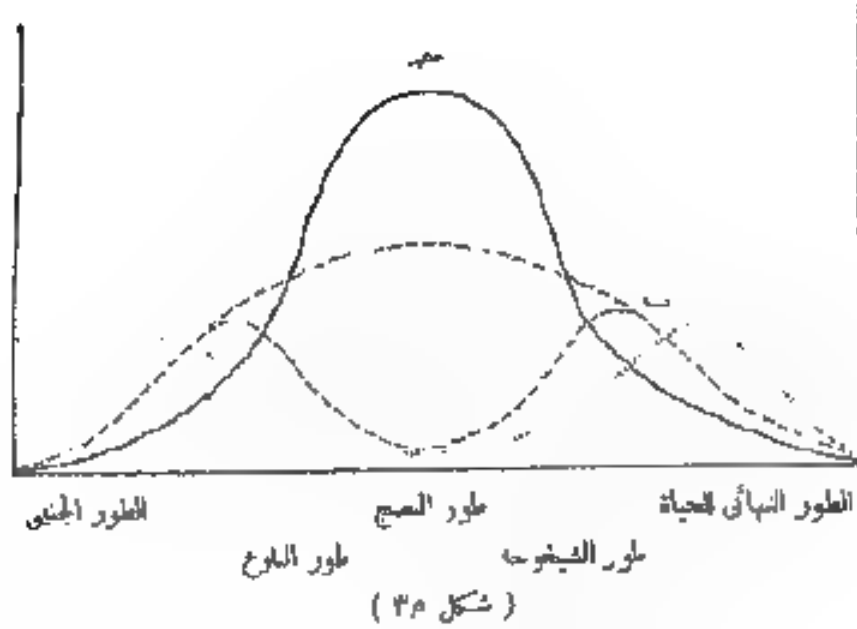
وفي عام ( ١٨٩٨ ) أصدر Winkler تجارب «ماير» مستملاً أوراق مائية  
مختلفة في حاليل مختلفة التركيب من سكر النصب . وأظهرت نتائجه أن لكل نوع من  
النشآت ما يسمى بالتركيب الحرج Critical concentration عندما يبلغه النبات يبدأ  
في تكوين النشاء من السكريات الزائدة . ففي الأوراق النشوية ( معظم أوراق ذاب  
الملتقين ) يكون هذا التركيب الحرج منخفضاً جداً لذلك فإن نبي النشاء بعد فترة  
قصيرة من انتهاء عملية التمثيل الضوئي . وقد وجد أن التركيب الحرج لأوراق  
الجاروبيا هو ٢ - ٥ ٪ من السكر . أما أوراق نباتات الفلقة الواحدة ( الأوراق  
السكرية ) يظهر أن تركيبها الحرج بعيد جداً ولا تبلغه تحت الظروف العادية ولذلك  
لا تنبئ النشاء نتيجة لعملية التمثيل الضوئي . فعندما غذيت أوراق الياسنت بمحلول  
سكري تركيزه ١٥ ٪ وأوراق قصب السكر بمحلول سكري تركيزه ١٨ ٪ تمكنت  
من بناء النشاء في خلاياها .

وقد أوضح Lundegardh ( ١٩١٣ ) أن الأوراق تأخذ في بناء النشاء في خلاياها

إذا زاد تركيز المحلول السكرى عن التركيز الخارج ، ويستمر البناء بزيادة التركيز إلى أن يصل تركيز المحلول ٢٠ ٪ تقريباً وعنده لا يزيد معدل البناء . فإذا زيد التركيز إلى ٤٠ ٪ فإن عمية بناء النشاء لا تتوقف لحسب بل إن النشاء الموجود فى الأوراق يأخذ فى التحلل إلى سكريات . ويرجع ذلك إلى أن تركيز ٤٠ ٪ بسبب بلزمة خلايا الأوراق ويقل محتواها المائى فيتحلل النشاء إلى سكر . وبما يؤيد صحة ذلك التعليل تلك التجارب التى قام بها Wolf ( ١٩٢٦ ) عندما جفف شرائح رقيقة من البطاطس تجفيفاً صناعياً فلاحظ إزداد محتواها السكرى ( خصوصاً من سكر القصب ) بزيادة كبيرة معها نقص فى محتواها النشوى . وقد استخدمت هذه الطريقة فى ألمانيا للحصول السكر من النشاء .

ولدرجة الحرارة تأثير كبير على بناء النشاء ، فقد وجد Barker ( ١٩٢٣ ) أنه عند تعرض درنات البطاطس إلى درجة ١ — ٢° م لمدة من الزمن فإن محتواها السكرى يزداد بزيادة كبيرة على حساب نقص المحتوى النشوى للدرنات . فإذا ما رست درجة حرارة هذه الدرنات السكرية إلى درجة ١٥° م تحول السكر سريعاً إلى نشاء وراد المحتوى النشوى للدرنات . وأنه من الملاحظات المعروفة أن أوراق النباتات دائمة الإحضرار تحوى على نسبة عالية من اسكريات وسنة منخفضة من النشاء . في فصل الشتاء يبا يشاهد العكس فى فصل الصيف .

ويسمى النبات أو العضو النباتى خلاقة وثيقة بمحتوى العصور من النشاء والسكريات . وقد قام F.F Blackman بجمع نتائج الباحثين فى هذا الموضوع ولاحظ أنه يوجد فى جميع نتائجهم تفاه كبير من حيث المحتوى النشوى والسكرى للأعضاء النباتية فى أطوار النمو المختلفة . وعلى ضوء هذه النتائج قام هذا العالم بعمل الرسم البيانى ( شكل ٢٥ ) الذى يوضح العلاقة بين المسكورات والسكرور والنشاء فى أطوار النمو المختلفة لنبات أو العصور النباتى . ومنه يصح أن المسكورات يكثر وجودها فى الطور الجنينى وكذلك فى الطور الذى يسبق الطور النباتى للحياة . وفى طورى البلوغ والشجوخة يكثر وجود السكرور . أما فى طور النضج فإن النشاء يتركز على حساب السكريات الدائمة فى النباتات التى تنبى النشاء .



المحور الكروي والنموي في الأسماء النباتية في أطوار النمو المختلفة كما يراه F.F Blackman

أ - المسكورات      ب - اسكروز      ج - النشاء

أما إذا كانت النباتات من النوع الذي لا يبقى النشاء ، فإن السكر هو الذي يزداد تركيزه في طور النضج وقد أثبت التجارب التي أجراها دندا وحجلاي ، ( ١٩٥٢ ) وجود هذه العلاقة فيما يخص بنمو ونضج ثمار الكثرى

### المواد الملونة في النباتات :

تنقسم المواد الملونة التي توجد في النباتات إلى قسمين رئيسيين :

القسم الأول . مواد ملونة تذوب في المذيبات العضوية مثل كحول الإيثايل

وكحول الميثايل ، الأسيتون والأيثر وأثير البنزول والبنزين والكلوروفورم

القسم الثاني : مواد ملونة تذوب في الماء .

### المواد الملونة التي تذوب في المذيبات العضوية :

أهم هذه المواد الملونة يوجد في الأوراق الخضراء وتنقسم هذه المواد إلى قسمين .

( ١ ) المواد الملونة الخضراء وهي كلوروفيس أ (ك) ب (ج) د (هـ) ( مع ٦

كلوروفيل ب (ك. ٥٥٠ بد. ٦٠٠) وهي التي تكسب الأوراق والأجزاء الخضراء لونها الأخضر.

(٧) المواد الملونة البرتقالية والصفراء وهي الكاروتين (ك. ٤٠٠ بد. ٥٠٠) والاثوفيل (ك. ٤٠٠ بد. ٦٠٠) وتوجد مخفية تحت المواد الملونة الخضراء.

ويدخل تحت المواد الملونة البرتقالية والصفراء طائفة كبيرة من المواد الملونة تعرف بالكاروتينات Carotenoids وهي التي تكسب بعض الأزهار والثمار ألوانها الزاهية ومن أمثلتها .

١ — الكابستين Capsanthin (ك. ٤٠٠ بد. ٦٠٠) ويوجد في ثمار الفلفل الحار .  
٢ — الكانثورubin Capsorubin (ك. ٤٠٠ بد. ٦٠٠) ويوجد أيضاً في ثمار الفلفل الحار .

٣ — الزياكستين Zeaxanthin (ك. ٤٠٠ بد. ٦٠٠) ويوجد في حبوب الذرة الصفراء .  
٤ — الكريبتو زانثين Cryptoxanthin (ك. ٤٠٠ بد. ٦٠٠) ويوجد في ثمار الفلفل الحار .  
٥ — الكاروتين Carotin (ك. ٤٠٠ بد. ٦٠٠) ويوجد في بتلات الأزهار الصفراء وبعض الثمار .

٦ — الاثوفيل Xanthophyll (ك. ٤٠٠ بد. ٦٠٠) ويوجد في بتلات الأزهار الصفراء وبعض الثمار .

٧ — البكسين Bixin (ك. ٤٠٠ بد. ٦٠٠) ويوجد في ثمرة نبات البكسا ونحضر منه مادة مبرقة تشتمل في تكوين الزيت .

٨ — الأوريدين Oreidin (ك. ٤٠٠ بد. ٦٠٠) ويوجد أيضاً في ثمرة البكسا .

٩ — اللايكوبرسين Lycopersin ويكسب ثمرة الطماطم لونها الأحمر .

١٠ — الفيكوكسانثين Fucoxanthin (ك. ٤٠٠ بد. ٦٠٠) ويوجد في الطحالب البنية وغير ذلك من الكاروتينات الكثيرة التي لا يتسع المقام لسردها

وهناك مواد ملونة أخرى غير كاروتينيه ولكنها تدوب في المذيبات العضوية

ومن أمثلتها مادة الكركومين Curcumin (ك. يد. ١٠٠) . ويوجد في ديبرومات الكركم .  
ونكسبها اللون الأصفر المعروف .

ولا تتكون المادة الخضراء في النباتات إلا بمساعدة الضوء . وقد أنتت Eyster (١٩٢٨) أن الكلوروفيل يتكون في مرحلتين . المرحلة الأولى وتتكون فيها مادة البروتوكوروفيل Protochlorophyll وتتكون في الظلام . أما المرحلة الثانية فمعيها يحول البروتوكوروفيل إلى الكلوروفيل Chlorophyll

وبزيادة شدة الإضاءة يزداد تركيز الكلوروفيل في الأوراق إلى درجة معينة فإذا زادت شدة الإضاءة عن ذلك قلت درجة تركيزه في الأوراق . وتنتار نباتات تلاحظ بكثر بلاستيدياتها الخضراء عن نباتات الشمس وبقلة تركيز الكلوروفيل ها .

وإذا فحص محلول الكلوروفيل بواسطة الاسبكتروسكوب ظهر أنه يمتص الضوء الأحمر بدرجة كبيرة ثم يبي منطقة الامتصاص الحمراء أربع مناطق امتصاص تأخذ في القلة في الضوء الأصفر والأخضر ، ويعقب ذلك منطقة امتصاص كبيرة نوعاً في منطقة اللون الأزرق عليها نقطة امتصاص كبرى في اللون الأزرق النيلي .

ويمكن فصل الصبغات الأربع المستحصلة من الورقة الخضراء باستعمال عمود الكروماتوجرام . وهو عمود من الزجاج مملوء بمسحوق ناعم من كربونات الكالسيوم أو أكسيد الألومنيوم أو غير ذلك من المواد التي تصلح لهذا الغرض . فإذا صب مستخلص الصبغات في البيرس أو أنير البترول فوق عمود الكروماتوجرام ثم سحب المستخلص من أسفل الأنبوبة الزجاجية فإن الصبغات الأربع تتجمع تجمعاً سطحياً على جزيئات المادة المستحصلة في طبقات متتالية منفصلة عن بعضها تماماً . فإذا كشط كل طبقة منها على حدة واستعمل المذيب المناسب حصلنا على الصبغات الأربع كل على حدة . ويمكن فصل الصبغات عن بعضها باستعمال المذيبات العضوية المختلفة وهذه الطريقة مبنية على اختلاف خواص الصبغات في درجة ذوبانها في المذيب العضوي الواحد . فمثلاً يذوب الراتوفيل بدرجة أكبر من الأصباغ الأخرى في كحول الميثايل ، ويميل الكاروتين للذوبان بدرجة كبيرة في أنير البترول . أما الصبغات الخضراء

(الكوروفيلات) فلا تنوب في أثير الترون إلا إذا احتوى على كمية ولو قليلة من الاسترون . وبناء على هذه الخواص أمكن فصل كل منها على حدة .

### المواد الملونة التي تنوب في الماء :

وتشمل صدها كبراً من المواد الملونة أهمها :

١ - الفلافون والفلافونول Flavones and flavonols وتسمى بالمواد الملونة البيضاء وتوجد في جميع أجزاء النبات ويمكن الكشف عنها في بتلات الأزهار البيضاء وتتميز بتفاعلها مع القلويات فتعطي اللون الأصفر .

٢ - الانثوسيانين Anthocyanins وهي مجموعة من المواد الملونة توجد في جذور البنجر وأوراقه وتكسبها لونها الأحمر المعروف وتوجد في جذور الجزر الأحمر وفي بتلات كثير من الأزهار مثل زهرة الكردي والفريليا - ( تستعمل بتلات الكردي في تحضير شراب الكردي المعروف وتكسبه صفة الانثوسيانين لونه الأحمر المميز ) .

ويتميز الانثوسيانين بتفاعله مع القلويات معطياً لوناً شمسياً ومع الأحماض لوناً أحمر زاهياً .

### ثانياً: بناء المواد البروتينية Protein synthesis

قدما أن الآروت من أهم العناصر الغذائية التي يحتاج إليها النبات فهو يدخل في تركيب المادة الخضراء والمادة البروتينية والبروتينات والأحماض الأمينية .

وبناء المواد الأرونية في النبات ليس من الموضوعات السهلة ، إذ ليس من السهل الحصول على المواد البروتينية بحالة نقية في النسب كما هو الحال في المواد الكربوهيدراتية ، فهي ليست ثابتة ولونها يتغير دائماً من حالة إلى أخرى الأمر الذي يجعل دراستها من الأمور الشاقة إلا أن كثرة بحرها وعدم ثباتها يكون في مصلحة السكّان الحي فهو يؤدي إلى التغير الدائم في خلاياه . وهذه ظاهرة الحياة .

ووسائل التحليل الكيمائى التى وصل إليها العلم حتى الآن ليست كافية لدراسة المادة البروتينية معقدة التركيب . وليس أمامنا إلا أن نكون صورة ما عن تركيبها بدراسة ناتجات عملية انحلالها .

فعند معالجة امادة البروتينية بالاحماض القوية فإنها تتحلل فى النهاية إلى خليط من الاحماض الامينية ، ويسمى تكوين الاحماض الامينية انحلال اماده البروتينية إلى عدد من النواتج الوسيطة كالببتونات وعديد الببتيد وثنائى الببتيد وأخيراً الاحماض الامينية .

وعند الاحماض الامينية المعروفة حتى الآن حوالى ٢٥ حامضاً ، وتكون الأحجار الاساسية التى ينبى منها جزيء البروتين المعقد . وليس من الضروري وجودها كلها فى جميع أنواع البروتينات . ويمتاز الاحماض الامينية باختلافها على شقين أحدهما حامضى والآخر قاعدى . أى أن الحامض الامينى يملك مسلك الاحماض والقويات إذ يخترق كل حامض امينى على مجموعة واحدة أو أكثر كربوكسيلية ( - ك ا ا د ) ومجموعة واحدة أو أكثر من المجموعات الامينية ( - ن د پ ) وأهم الاحماض الامينية ما يأتى :

أولاً : الاحماض الامينية الاليمانية Aliphatic amino - acids

١ - الجلايسين Glycine كندپ ( ن د پ ) . ك ا ا د

ب - الالانين Alanine كندپ . كند ( ن د پ ) . ك ا ا د

ج - الاسبرتيك Aspartic acid كندپ ك ا ا د

كند ( ن د پ ) . ك ا ا د

كندپ . ك ا ا د

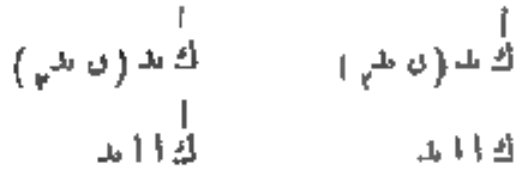
د - الجلوتاميك Glutamic acid كندپ / كند ( ن د پ ) . ك ا ا د

هـ - اللايسين Lysine كندپ ( ن د پ ) . كندپ كندپ كندپ ( ن د پ )

ك ا ا د

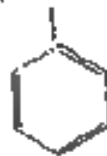


(د) السيستين Cystine ك مد - ك - ك - ك مد



تالياً : الأحماض الأمينية العطرية Aromatic amino-acids

(ا) الفينيل الانين Phenylalanine ك مد . ك مد (ن مد) . ك ا ا مد



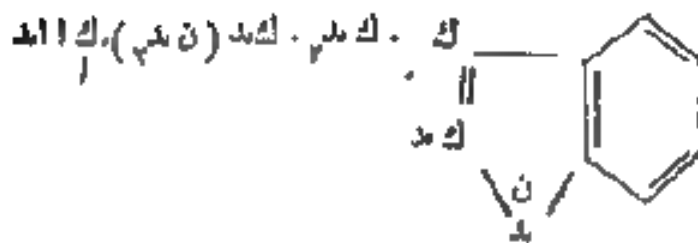
(ح) هستيدين Histidine

(ب) التيروسين Tyrosine

ك مد . ك مد (ن مد) . ك ا ا مد ك مد . ك مد (ن مد) . ك ا ا مد



(د) التربتوفان Tryptophane



تقسيم البروتينات:

تنقسم البروتينات الى الاقسام الرئيسية الآتية .

(ا) البروتينات البسيطة Simple protetus

يشمل هذا القسم البروتينات ذات الاوران الجزيئية العالية . وأهمها الألبومين

والجلوبولين والجلوتين والبرولامين . وتختلف هذه البروتينات عن بعضها في قابليتها للذوبان وفي خواصها . فمثلا يذوب الليومين البيض والخضروات بسهولة في الماء بينما لا يذوب الجلوبولين إلا في محاليل أملاح الأحماض والقواعد القوية مثل محلول كلوريد الصوديوم . ويذوب الجلوتين في الأحماض والقواعد الضعيفة أما البرولامين فإنه لا يذوب إلا في محلول ٧٠ - ٨٠ ٪ من الكحول

#### ( ٢ ) البروتينات التزاوجية Conjugated proteins

تختلف بروتينات هذا القسم عن البروتينات البسيطة في أنها تكون متحدة بمركات أخرى غير بروتينية وأهم بروتينات هذا القسم هي البروتينات النووية التي تكون أكثر المادة الكروماتينية في النواة ، وتتكون البروتينات النووية بانحدار جزيئين من البروتين بالحامض النووي ويكون الحامض النووي من حامض الصغوريك وسكر البنتوز ومركب أروني

#### ( ٣ ) البروتينات المحولة Derived proteins

تشكل هذه البروتينات نتيجة لإحداث تحولات في جزيئات البروتينات الأخرى بمعاملتها بالأحماض أو القواعد أو الحرارة أو الإنزيمات فتنتج مواد تقع وسطاً بين جزيء البروتين المنحل والأحماض الأمينية ومنها الببتونات والمثيدات .

#### مصادر الأزوت للنبات :

تحصل جميع النباتات الخضراء الراقية - إذا استغنت النباتات البقولية - عن محتاجه من الأزوت من التربة على شكل أملاح غير عضوية من النشادر والأزوتات تصاف إلى التربة على شكل أملاح سمادية ، أو تنتج من تحلل المواد العضوية التي تضاف للتربة على صورة أسمدة عضوية كالسماد البلدي وزرق الطيور والدم المجفف وغيرها مما يتحلل في التربة بواسطة أنواع خاصة من البكتريا والفطر إلى مركبات آزوتية بسيطة يمتصها النبات كالنشادر والأزوتات وقد يتأخر إلى النحر أن إضافة الأملاح النشاذرة إلى التربة كمصدر للأزوت

النبات يفضل إضافة أملاح الأزوتات نظراً لأن الأزوت في الأحماض الأمينية يوجد على حاله - ن دى ، والواقع أن الأمر غير ذلك دائماً فقد أثبتت التجارب أن الأزوتات لا تقل فائدة في استعمالها عن الأملاح الشاذية - بل إن النبات يفضل الأزوتات خصوصاً في فترة الإزهار . ويعتمد علام والمهندسي ( ١٩٤٩ ) أن أملاح النشادر إذا أضيفت إلى التربة فإنها ممرجان ما تتأكسد إلى أملاح الأزوتات بفعل بعض أنواع البكتيريا .

وتمتص النباتات الأملاح الأزوتية غير العضوية التي توجد في التربة مهما كان تركيزها ضئيلاً بسرعة كبيرة وتتراكم هذه الأملاح الممتصة في خلاياها حتى تصل إلى تركيزات عالية بالنسبة لتركيزها في التربة .

والتهوية أثر كبير في معدل امتصاص أيونات الأزوت والنشادر بواسطة جذور النباتات . ففي إحدى التجارب امتصت النباتات المزروعة في مررعة جيدة التهوية ٦٠ ٪ من أيونات ن دى ٩ ن ا أكثر من نظيرتها غير المهرلة

ولاستعمال الأملاح المعدنية الأزوتية أثر كبير على درجة حموضة التربة فإذا استعملت أروقات الصوديوم مثلاً في التسميد فإن النباتات تمتص أيون الأزوتات ن ا وتتراكم كميات كبيرة من أيون الصوديوم في التربة ( لأن الصوديوم ليس من العناصر التي يستعملها النبات بكميات كبيرة ) وتنتج راكم أيونات الصوديوم ، ويتكرر استعمالها في سنوات متعاقبة يرداد توكيز أيون الصوديوم في الأرض مما يؤدي إلى قلويتها وتلف خواصها الطبيعية والكيمائية والحيوية . وليس الأمر قاصراً على تلف هذه الخواص فقط بل إن كثيراً من العناصر الضرورية تصبح في حالة غير دائمة وغير ميسورة للنباتات مثل الفوسفات والحديد . ولا يحصى ما لهذه العناصر من قيمة في تغذية النبات ( راجع تغذية النبات ) وحيث أن التربة المصرية حماسي من القلوية ( pH ٨ أو أكثر في بعض الحالات ) فإنه لا ينصح بتأناً باستخدام هذا الملح السام في تسميد أراضيها .

أما عند استعمال كبريتات النشادر ( ن دى ) كـ ا فإن النباتات تمتص أيون

النشادر بمعدل أكبر من امتصاصها لأيون الكبريتات لدى يتحلف أكثره في التربة .  
ونظراً لأن هذا الأيون حامض التأثير فإنه يفضل استجابه في أراضينا لمصرية ذات  
القلوية العالية ليعادل جزءاً من قلويتها وتتحسن خواصها العامة وتصبح المركبات  
الغذائية غير الذائبة بحالة ذائبة وميسورة للنبات .

وإذا استعملت أروقات النشادر في التسميد (ن مدغ) ن أم فإن النباتات تمتص  
كاتيونات وأنيونات هذا الملح بدرجة واحدة لأن كلا منهما مصدر أروقي للنبات  
فلا يبقى منه شيء يؤثر على خواص التربة العامة .

وبعد استعمال أزوتات الجير فإن جنود النباتات تمتص أيون الأزوتات بمعدل  
أكبر من أيون الكالسيوم . ولو أن أيون الكالسيوم قلوي التأثير ، إلا أنه يحسن  
من صفات الأرض الطبيعية لأنه يسد تجمع جزيئات التربة فيسهل تبادل الغازات  
وحركة المياه وتصبح حسنة التهوية والصرف .

#### مراحل عملية بناء الهرم المتروية في النبات :

تمتص النباتات المركبات الأروتية من التربة وتبقى منها المواد الأروتية في خلاياها  
بمساعدة المركبات الكاربوايدراتية الناتجة من عملية التمثيل الضوئي أو مشتقاتها .  
وتحدث عملية البناء على مراحل متتالية نلاحظها في الخصوات الآتية :

##### (١) احتزال النترات :

تدل نتائج الأبحاث التي عملت في هذا الموضوع أن النترات بامتصاص تسلك في  
النبات عكس مسلك عملية التأزت التي تحدث في التربة وبمعنى آخر فإنها تخترل إلى  
أزوتيت ثم إلى أملاح النشادر قبل أن تتحد مع الأحماض العضوية لتكوين الأحماض  
الأمينية .



وقد أثبتت نتائج التجارب التي قام بها كثير من العلماء على أن القسم الثمانية

لنبات الأسبرجس لما افدوره على تمثيل الأروونات وإن كانت هذه الأروونات لا تصل إليها بحالتها غير المختزلة ، لأن اختزالها يتم في جذرياتها وقبل أن تصل إلى أعصاه النبات . ولكن في درجة حراره ٩٠° أمكن الكشف عن وجود الأروونات إلى مسافات بعيدة في الثمار وذلك لأن هذه الدرجة المنخفضة من الحرارة تبين من عليه اختزال الأروونات فتتفعل بحالتها في أجزاء النبات المختلفة .

ونحتاج عليه اختزال النترات إلى الطاقة في كل خطوة من خطواتها . وقد كان من المعتاد أن عملية بناء المواد الأزوتية لا يحدث إلا في الضوء لأنه لوحظ سرعة احتواء الأروونات في النباتات المعرضة للضوء بالنسبة للنباتات المحفوظة في الظلام وأن الطاقة الضوئية تستعمل في عملية الاختزال إلا أن الأبحاث الحديثة تدل على أن عملية الاختزال تحدث في الضوء أو الظلام على حد سواء بشرط توفر المادة الكربوهيدراتية في أنسجة النبات . ففي إحدى التجارب وحظ المحمص المحتوى الكربوهيدراتي للنباتات أثناء عملية بناء المواد الأزوتية في الضوء أو في الظلام فدل ذلك على أن الضوء ليس ضرورياً لإتمام العملية وإنما يكون تأثيره غير مباشر لأنه يعمل على توفير انبعاث الكربوهيدراتية لإتمام هذه العملية . وفي تجربة أخرى جمعت بعض النباتات في الظلام وغذيت بمحاليل سكرية إلى جانب غذائها الأزوتي فزاد محتواها البروتيني .

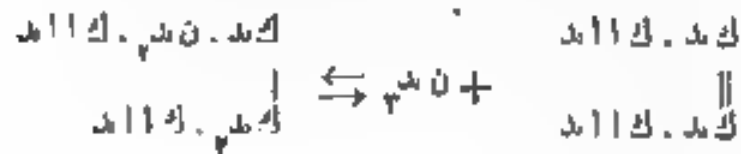
وقد أوضح Hamner ( ١٩٢٦ ) أن عملية اختزال النترات في نبات الطماطم والقمح في الظلام كانت مصحوبة بزيادة في معدل التنفس وأن هذه الزيادة في معدل التنفس لم تحدث مع امتصاص النترات بل مع اختزالها ومع عملية بناء الأحماض الأمينية ، وأن الطاقة التي لامت هذه العمليات استمدتها النبات من الطاقة الناتجة من عملية التنفس . وقد قدر أن ٣٠ ٪ من طاقة التنفس تكفى لعملية الاختزال وأن الكمية الباقية من الطاقة تستغل في عمليات البناء الأخرى . وقد شبه Meyerhot الطاقة المستخدمة في اختزال النترات في أنسجة النبات والمتولدة من عملية التنفس ( حرق المراد الكربوهيدراتية ) بتفاعل مسحوق البارود عند إشعاله ، لأن الكربون

في هذا التفاعل يتأكسد كل حساب اختزال الثورات . رشاء على هذا التشبيه فإنه الثورات لا يمكن أن تمثل في جسم النبات إلا إذ وجدت كمية كافية من الكربوايدرات . فإذا شئت المادة الكربو يدراتية فإن الثورات تراكم في أسجة النبات

### (٣) تكوين الأحماض الأمينية :

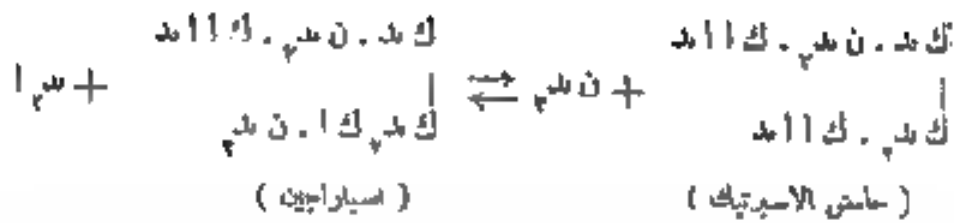
يتكون الحامض الأميني من اتحاد النشادر الناتج من عملية اختزال الثورات مع بعض مشتقات نواتج عملية التمثيل الضوئي . ويسمى الحامض الأمينية المعروفة هو حامض الجلانسين Glycine ويشتهر من استبدال ذرة من الأيدروجين في مجموعة الميثايل ( ك ب ) لحامض الخليك بمجموعة أمين ( ن ب )

ويوجد حامض الخليك في الخلايا نتيجة لعمليات التحول العدائي ويكون الهيكل الكربوني لهذا الحامض الأميني أي أنه لا بد لكل حامض أميني من حامض عصوي يتحد مع مجموعة أمينية ليسكون هذا الحامض الأميني . مثلاً يتكون حامض الأسبرتيك Aspartic acid من اتحاد حامض الفيوماريك Pumaric acid مع ن ب



ويساعد هذا التفاعل أنزيم الأسبرتيز Aspartase . وقد سبق ذكر الانزيمات المهمة بالانزيمات ناقلة مجموعة الأمين التي تساعد على تكوين بعض الأحماض لأمينية الهامة في خلايا النبات والحيوان .

هذا وقد دلت نتائج الأبحاث على وجود مادة الأساراجين (وهي أميد الأسبرتيك) في خلايا النبات وذلك في حالة وجود النشادر بكثرة مع قلة المواد الكربوايدراتية والمعادلة الآتية تبين تحول الأساراجين إلى حامض الأسبرتيك والعكس بواسطة أنزيم الأساراجينيز Asparaginase .



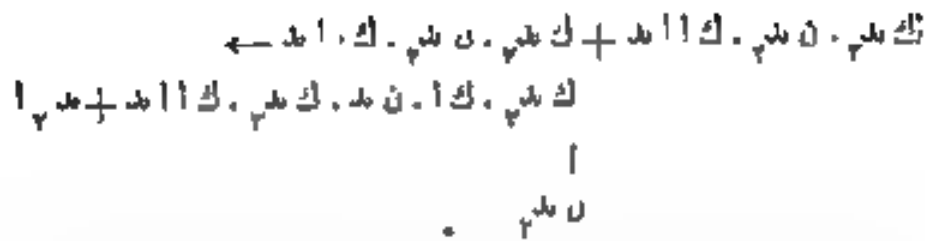
وقد وضعت نظريتان لتفسير وجود الاسباراجين في أنسجة النباتات :

النظرية الأولى . وهي تفترض أن الاسباراجين ينتج من انحلال البروتين ويظن أنه المادة الأزوتية القابلة للاتصال في خلايا النباتات نظراً لقابليته للذوبان ، وأنه ينقل إلى مناطق النشاط المرستيمي حيث يتحد مع المراد الكربو ايمراتية (كالجلوكوز) لينتج أوعاءاً أخرى من البروتينات اللازمة للنمو .

والنظرية الثانية . وهي تفترض أن الاسباراجين لا ينتج نتيجة لانحلال البروتين بل أنه ينتج نتيجة لانحلال الأحماض الأمينية إلى الحامض العضوي وبمجموعة النشادر فيتحد حامض أميني آخر بالنشادر المنفردة مكوناً الأميد . وهذا يلعب الأميد دوراً هاماً وهو الاتحاد مع النشادر فلا يترك بحالة حرة تظهر بحموية الخلايا .

(٣) تكوين البروتينات .

إذا عوملت الأحماض الأمينية بحامض الأروتود فإن الأروتود داخل في تركيب الحامض الأميني منفرد ( ويستعمل هذا التفاعل في تقدير كمية الأحماض لاميينية الحرة في الأنسجة النباتية والحيوانية ) أما إذا عومل البروتين بهذه المعاملة فإن كمية الأروتود المنفرد تكون قليلة جداً ، دعى Emil Fischer إلى الاعتقاد بأن الأحماض الأمينية التي تكون الجزء البروتيني لا بد أن تكون مرتبطة ببعضها . فترتبط المجموعة الأمينية في أحد الأحماض بالمجموعة الكربوكسيلية في الحامض الأميني الآخر . وعلى ذلك يخرج جزيء من الماء نتيجة لاتحاد جزيئين من الأحماض الأمينية وراطة يتتبدية ( د.د. - ك.ا. ) . ويسمى المركب الناتج من اتحاد حامضين أميين « ثنائي الببتيد » Dipeptide كما يحدث عند تمكثف جزيئين من الحامض الأميني « الجلايسين » .



(١) خلايين ( + ) خلايين ( — ) (ثنائي الببتيد) + (ماء)  
 فإذا انحلت ثلاثة أحماض أمينية بنفس الطريقة (لأن هذا المركب ثنائي الببتيد لا يزال يحتوي على مجموعة أمينية وأخرى كربوكسيلية) برابطة ببتيدية أخرى تكون مركب جديد هو ثلاثي الببتيد Tripeptide وهكذا يمكن للأحماض الأمينية أن تتكاثف مع بعضها مكونة عديد الببتيد Polypeptide وقد تمكن « فيشر » من تحضير مركب عديد الببتيد مكون من ١٨ حمض أميني . وعندما عامل هذا المركب بالإنزيمات البروتينية انحلت إلى مكوناته من الأحماض الأمينية

وكل الاعتقاد السائد إلى عهد قريب أن الأحماض الأمينية تتشابه مع بعضها في شكل سلسلة لتكون جزيء البروتين ، إلا أن الأراء الحديثة لا تميل إلى الأخذ بأن هذا هو الوصف الوحيد لترتيب الأحماض الأمينية في جزيء البروتين ، بل ترى أن التركيب الحلقى أيضاً هو أحد الأنظمة التي تتحد بها جزيئات الأحماض الأمينية في جزيء البروتين .

ومنذ عام (١٨٨٨) أثبت Schimper أن المحتوى البروتيني للأوراق يزيد أثناء النهار ويتناقص ليلاً مع راحة في محتوى الأوراق من الأذونات ، وقد عرفت هذه الظاهرة بأن البروتين دائم الانحلال في الليل والنهار ولكن ذلك الانحلال لا يظهر في النهار لأن معدل البناء البروتيني في النهار يكون أكثر من معدل انحلاله

وفي عام (١٩٣٨) أوضح Pearsall & Billimoria أن الأوراق الحديثة التكوين هي الوحيدة التي لها القدرة على البناء البروتيني من المركبات الأرونية الذائبة ويتضح من هذا الرأي أن الأوراق البالغة تفقد قدرتها على البناء البروتيني بينما ينحل جزئياً بروتين الأوراق المسنة .



ويبدو من كثير من الشواهد والأدلة على أن الرأي الأول ( القديم ) هو الأصح .  
فقد تمكن سعيد ( ١٩٣٧ ) من جعل خلايا الجذر البائقة تنبت البروتين في خلاياها  
بهيئة جميع العوامل المؤدية لبناء البروتين ، وهذا ما لا شك فيه يرجع كنه  
الرأي القديم .

### تثبيت الأزوت الجوي .

تحتوي التربة على كثير من أنواع البكتريا يقوم بعضها بتثبيت الأزوت الجوي  
في صورة مركبات أزوتية صخرية تستعملها النباتات في  
بناء مركباتها الأروية ، وقد عرف منذ القدم أن هناك  
نوع خاص من البكتريا يسمى بكتريا العقد الجذرية  
*Nodule bacteria ( Bacillus radiatopila )* تعيش في  
التربة وفي جذور النباتات البقولية معيشة تكافلية  
تستمد البكتريا من النبات البقول ما يلزمها من الماء  
والأملاح والمواد الكربوهيدراتية وتمدها في مقابل  
ذلك بالمركبات الأزوتية التي يمكنها أن تحصل عليها  
من الأزوت الجوي ( شكل ٣٦ ) .



( شكل ٣٦ )

مفردات خردل تعيش عليه  
بكتريا العقد الجذرية

وعلاوة على ذلك فإن التربة تحتوي على أنواع  
أخرى من البكتريا الزمية التي تقوم بتثبيت الأزوت الجوي بمعدل عن النباتات

المزرعة وقد عرف أخيراً أن هناك أنواع من الفطريات والطحالب تشارك أيضاً في تثبيت الأزوت ، وأهم أنواع البكتريا الزمية ما يأتي .

١ - بكتريا كلوستريديوم باستوريانم *Clostridium pasteurianum* وهي بكتريا غير هوائية تثبت الأزوت الجوي بمزول عن الأكسجين وتكثر في الأراضي سبعة الثوبية . ويظن أن طريقة عمل هذه البكتريا أنها تقوم باستصاص الأزوت الجوي وتعمل على تحليل المواد السكرية ايدراتية الموجودة في التربة من المتحللات العضوية إلى الأحماض العضوية ، ثم تقوم بتركيب الأزوت الجوي مع الايدروجين مكونة النشادر وتعمل على معادته بالأحماض العضوية فتخرج الأحماض الامينية والمركبات الارونية التي يتصاها النبات ويوكلها في جسمه مركبات آزوتية

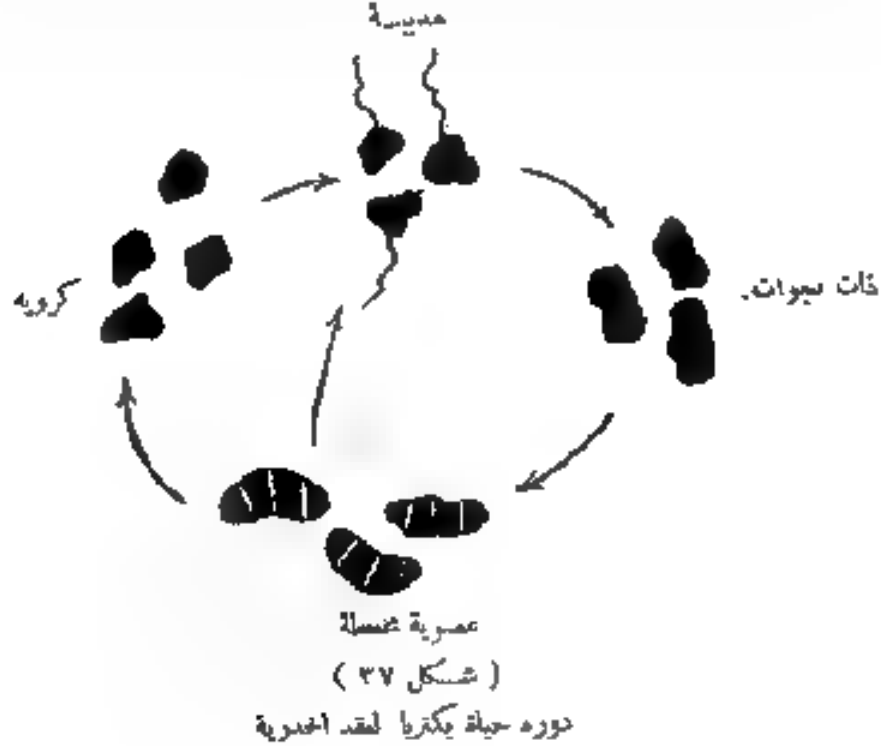
أما إذا توفر الأكسجين في التربة فإن هذه البكتريا تهرب عن العمل إلا إذا شاركها نوع آخر من البكتريا الهوائية التي تستعمل الأكسجين وهذا تنوع الظروف للبكتريا غير الهوائية فتقوم بتثبيت الأزوت الجوى . وهذه البكتريا الهوائية هي :  
٢ - بكتريا الأروتوبيا كتر *Azotobacter* وهي بكتريا هوائية ، تقوم بتثبيت الأزوت الجوي في وجود الأكسجين وتحصل على قدر كبير من الطاقة نتيجة لاكسنتها المركبات السكرية ايدراتية أكسدة هوائية . وعلى ذلك فإن لهذا النوع من البكتريا القدرة على تثبيت كمية أكبر بكثير من الأزوت الجوي عن البكتريا السابقة .

### البكتريا العفوية والنباتات البقولية :

أوضح Thornton ( ١٩٣٣ ) عند دراسته علاقة البكتريا المعوية عاشتها البقول أن إصابة السكرتيا بالجنور العائل يزداد زيادة واضحة عند بدء تكوين الأوراق الحقيقية لنبات . ففي هذه الفترة من حياة العائل تفرز الشعيرات الجذرية مادة يظهر أنها تسبب نكاث السكرتيا في التربة ، وتفرز البكتريا بدورها مادة تسبب نمو الشعيرة الجذرية والتوائها فتدخل البكتريا الشعيرة من منطقة الالتواء لأنها أضعف

نقطة في الشعيرة . وعند إصابة الترات الى الورقة فإنها توقف عمل إفراز البكتريا فلا تلتوى الشعيرة ولا تسكن البكتريا من دسوها . ويمكن إدراج الحالة الى ما كانت عليه إذا أضيف قليلا من السكر . ويظهر أن نسبة الكربون الى الأروت تؤثر في عملية تثبيت الأروت

ولبعض العناصر تأثير كبير على تكاثر البكتريا وتكوين العقد الجذرية . مثلا عند غياب عنصر البورون ينخفض معدل تكوين العقد انضماماً كبيراً وتصبح البكتريا عن تثبيت الأروت بالفقر المتاد . ويظهر أن الكبريت نفس تأثير البورون وعندما تدخّل البكتريا من الشعيرة الجذرية فإنها تأخذ طريقها الى الداخل في خلايا القشرة حيث تتكاثر في آخر طليقاتها من الداخل ، وفي هذه الأثناء تفرز مادة هرمونية تعرف بالهتيرو أوكسين Hetero - auxin فتسبب تضخم الخلايا المصابة وتنتشر هذه المادة الى خلايا البريسكيل المجاورة لخلايا القشرة فتنبه الخلايا وتبدأ الجذور الثانوية في التكوين . ونظراً لأن تركيز هذه المادة الهرمونية يكون كبيراً ،

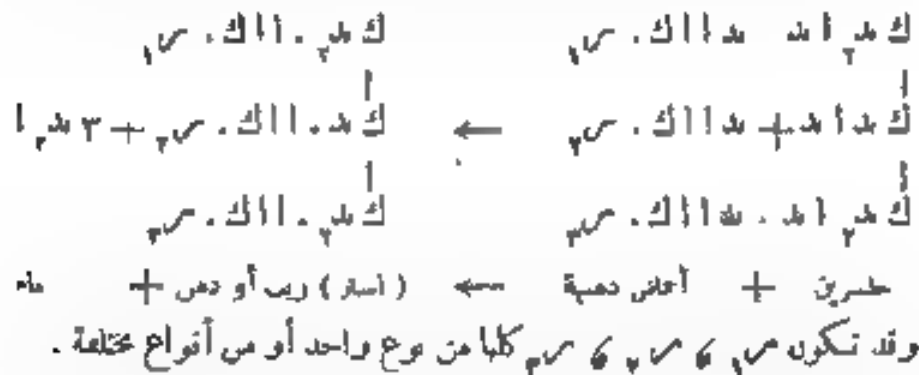


فإنه يوقف ويعطل نمو الجذر الثانوي وبدلاً من ذلك تنمو خلاياه وتنقسم مكونة كتلة غير منتظمة من الخلايا البرانشيمية هي العقدة الجذرية وما هي في الواقع إلا جذراً ثانوياً وقف نموه وسكونه .

وأثناء إصابة البكتريا لجذر النبات للبدول فإنها تمر في دورة حياة خاصة . فقد أوضح Hutchinson ( ١٩٢٠ ) أن البكتريا تكون في أول الأمر ذات شكل كروي غير محرك في هذا الطور من أطوار حياتها ثم تضخم في الحجم وتكون لها أهداب عند اختراقها للشميرة الجذرية ثم تفقد أهدابها وتأخذ الشكل العصوي وتكون بها الفجوات عندما تصل إلى منطقة القشرة ، وأخيراً تصبح غطاطة عندما تتكون العقدة البكتيرية ( شكل ٣٧ ) .

### ثالثاً : بناء المواد الدهنية Fat synthesis

تكون الدهون والزيوت المذخري في كثير من البذور والفاول كبدور القطن والكتان والذروع والسمسم والفول السوداني وثمار اللوز والبندق والريون وجوز الهند . وهي من الوجهة الكيميائية تكون من تكاتف أحد الكحولات العالية ( الجلسرين ) مع ثلاثة من الأحماض الدهنية تتكون استرات الأحماض المتفائلة .



ومعظم المركبات الدهنية التي توجد في النباتات من نوع الزيوت السائلة . والعروق في التركيب الكيميائي بين الدهون والزيوت يتوقف على درجة تقيسها والأوزان الجزيئية للأحماض الدهنية لداخلية في تركيبها فنحنوى الزيوت على نسبة عالية من

الأحماض الدهنية غير المشبعة ذات الأوزان الجزيئية العالية بينما تحتوي الدهون على نسبة عالية من الأحماض الدهنية المشبعة ذات الأوزان الجزيئية المنخفضة نسبيًا.

والأحماض الدهنية المشبعة الزمركزية أو العام (كس ملين ١٠ ك ١ اند) فضلا

بازمنه الكيمياء لحامص اللوردك

٦ ازمد السكياوى لخامس التالىك

بِالرَّحْمَةِ الْكِبَارَى الْخَامِصِ الْاِسْتِيَارِيكَ كَشْفِ مَدَام . كَبْرَا اَمَد

أما الأحماض الدهنية غير المشبعة فإنها تحتوي على رابطة واحدة أو رابطين أو

ثلاثة روابط وهي لذلك تنقسم إلى ثلاثة أقسام

١ - أحاسيس ذهنية ومنها العام (كسبيل - كالأهل) ومن أمثاتها مص

الأوليك ورمز الكهاوى ك<sub>١٧</sub> م<sub>٣٣</sub> ك<sub>١١</sub> م

٢ - أحاض تحفة ورمها ( العام لكى مهن - ٢ ك ا ا د ) ومن أمثلها حامص

الليبراليك ورمزه الكيماوي  $K_2O$ .

٣ - إحصاء ذهنية رمزها (العام لئى نفس . ك ا ا د ) وعن أمثلتها حامض

البيرونيك ودرسه الكبارى ك<sup>١٧</sup> ٣٩ . ك<sup>١٨</sup> ١١

ويندر أن توجد هذه البروتين أو الدهون في النباتات بصورة نهية بل إنها توجد

عالباً بحالة مختلطة ويتوقف قوامها العام على نسبة الدهن أو الزيت فيها .

والزيت والدهن مواد غير قابلة للتذويب في الماء ، وهي قليلة الذوبان في

الكحول ولكنها تدرب تماما في الاثير والكلوروفورم ، ويستعمل الاول في

استخلاصها وتقديرها في النبات .

وتحلل الزيوت والدهون بواسطة أنزيم اللاباير Lipase والأحماض المعدنية.

ونظراً لأن الزيوت مواد غير مشبعة فإنها تتحد بأيود بواسطة روابطها غير المشبعة

وويستعمل ما يسمى بالرقم اليودي Iodine number في تقدير درجة تشبعها

يعرف بكية اليهود بالجرأَم التي تمتصها ١٠٠ جم من الزيت كما أن لها القعدة على .

أخصاص الأكسجين بواسطة روافدها غير المشبعة وتصلب وتجف . وكما ذات درجة عدم تشبع الزيت زادت سرعته في الجفاف لذلك يستعمل زيت الكتان ( وهو من أقل الزيوت احمراراً تشبهاً ) في عمل البويات والورنيشات منها تستعمل الزيوت الأكثر تشبهاً في الأهراس العادية كزيت الزيتون وزيت بذر القطن وزيت السمسم وزيت القرب السوداني .

وهناك مراد شبه دهنية تدخل في تركيب الخلايا النباتية ولكنها لا تكون عداً ، محدراً وتعرب هذه المواد بالليبيدات Lipoids ومن أمثلتها اللبستين Lecithin وهي تشابه في تركيبها الزيوت والدهون إلا أنها تختلف عنها في أنها تحتوي على حامضين دهنيين فقط متصلين بمجموعتي الأيدروكسيل لجزيء الجلوسرين ، أما بمجموعة الأيدروكسيل الثلاثة فإنها تكون متكاثفة مع حامض الفوسفوريك . وعلى ذلك فإن أنزيم اللاييز لا يكفي وحده لتحليل الليبيدات إذ يلزم أيضاً أنزيم الفوسفاتير ليحصل حامض الفوسفوريك من الجلوسرين . وتذوب الليبيدات في جميع المذيبات العضوية التي تذيب لدهون والزيوت إلا الاسترون التي يستعمل لاهلها من الدهون والزيوت عند تقديرها .

وتدخل الليبيدات في تركيب الجدار البروتوبلازمي للخلية النباتية وتنظم غذائية الخلية .

#### معرفة المواد الدهنية بالسكر بوايدراتية :

تدس الأبحاث التي أجريت على أن المراد الدهنية تنفي في الأماكن التي توجد بها في البنور أو القمار ولا تقتل في جسم النبات كما هو الحال في السكر بوايدرات . وجمع الأبحاث التي عنت في هذا الصدد لم تعرض إلى طريقه صنعها بل تعرضت فقط إلى المواد التي تصنع منها .

في عام ( ١٨٩٦ - ١٨٩٧ ) أجرى Dr. Sablon مجلة تحاليل لشره القور في مراحل نموها المختلفة وأثبت أنه أثناء نضج الفرة يزداد محتواها من المواد الدهنية وينقص محتواها السكر بوايدراتي . والمجدول التالي يبين نتائج هذه التحاليل

التاريخ	الدهن	السكروز	الجلوكوز	النشاء
	%	%	%	%
٩ يونيو	٢	٦,٧	٦,٠	٢١,٦
٤ يوليو	١٠	٤,٩	٤,٢	١٤,١
١ أغسطس	٣٧	٢,٨	٠,٠	٦,٢
١ سبتمبر	٤٤	٢,٦	٠,٠	٥,٤
٤ أكتوبر	٤٦	٢,٥	٠,٠	٥,٣

وقد حصل Valée (١٩٠٣) و Lavanov (١٩١٢) على نتائج مشابهة .  
 وصل ذلك فهناك أدلة كافية على أن المواد الكربوهيدراتية هي أسلاف أو أصول  
 المواد الدهنية في النبات ،

وهناك دليل آخر يؤكد هذه النظرية وهو أنه عند إنبات البنور الدهنية يأنه  
 نسبة المواد الدهنية فيها تأخذ في النقص بينما تزداد نسبة المواد الكربوهيدراتية .  
 فمثلا عند إنبات بدور عباد الشمس التي تحتوي على الإنبات على ٥٥,٣ % دهنا وعلى  
 ٣,٨ % سكرأ يأن محتواها من المواد الدهنية ينخفض إلى ٢١,٨ % ويزداد محتواها  
 محتواها السكرى إلى ١٣,١ % ويستعمل النبات هذه السكريات الناتجة في بناء هيكله  
 الميسولوزى ، وبمجرة مع بعض الدهن تنتج الطاقة اللازمة في عمليات التحول الغذائي  
 والتمثيل .

وتمتاز المواد الدهنية التي يدهنها النبات عن المواد المعدنية الأخرى بالخاصة  
 بأنها سائلة فهي بذلك تملأ الفراغات الداخلية في الخلايا فلا تبقى فراغات بدون فائدة  
 وهي علاوة على ذلك تنتج عند حرمة كمية كبيرة من الطاقة إذا قورنت بالمواد  
 الأخرى الكربوهيدراتية أو الأروتية وذلك لأنها فقيرة في محتواها الأكسيجيني .  
 فمثلا ينتج من حرق جرام واحد من الدهن ٩ سعرأ أما جرام البروتين فيعطى  
 عند حرقه ٧ سعرأ ويعطى جرام المانف الكربوهيدراتية ٤,١ سعرأ .

وحيث أن نسبة الأكسجين إلى الكربون في المواد الدهنية أقل منها في المواد الكربوهيدراتية فإن تحول الكربوهيدرات إلى دهون يكون مصحوباً باحتياج الأكسجين الذي يستعمله النبات في عملية التنفس ، فينخفض معدل ما يتنفسه النبات من الأكسجين الجوي، وعلى ذلك فإنه ينتظر أن يكون معامل التنفس  $(\frac{V}{V'})$  أكثر من الواحد وهذا ما لاحظته Gerbet ( ١٨٩٧ ) عندما عين معامل التنفس لثمار الزيتون وبلغت زيت الخروج أثناء نضجها .

## الفصل الثالث

### الهضم Katabolism

الهضم هو القسم الثاني من عمليات التحول الغذائي وفيه - كما هو واضح من تسميته - تهضم بعض المواد التي سبق تناولها في النبات

وقد رأينا في عمليات البناء المختلفة التي تحدث في النبات، أن النبات يبني هذه المواد من مواد عام بسيطة فهي مثلاً في الكربوهيدرات عبارة عن ثاني أكسيد الكربون والماء ، وفي البروتينات، الأملاح الأروتية بعد اختزالها ثم اتحادها مع أحد الهياكل الكربوية الناتجة من تحول بعض المركبات الكربوهيدراتية أثناء عمليات التحول العدائ ( الأحماض العضوية ) . وقد رأينا أيضاً أن بناء هذه المواد المختلفة لا يمكن أن يحدث بدون الطاقة ، وأن هذه الطاقة - مهما كان مصدرها - مخزن في جزيئات المواد التي بنيت ، وعلى ذلك فإنه عند الهضم تنحل هذه المركبات إلى مركبات بسيطة أو إلى نواتجها الأولية حسب طريقة الهضم والغرض منها . فإذا كان الهضم كلياً فإنه يحصل على المواد الخام الأصلية التي استعملت في البناء . وقد يذهب لذلك إذا حدث شيئاً فإنك لا تحصل إلا على ما استعمل في بناء هذا الشيء . مثلاً عند هضم جزء



سكر الجلوكوز عندما تألف فإن حاصل الهدم يكون ثنائي أكسيد الكربون والماء والطاقة التي استعملت وادخرت في البناء :



وظاهر من هذه المعادلة أنها عكس معادلة البناء السابق ذكرها في عملية البناء الضوئي . ولا يلجأ النبات إلى الهدم لمجرد الهدم ، ولكن للاستفادة من نواتجه . فمثلا تستخدم الطاقة الناتجة في بعض التفاعلات الكيميائية التي تحدث داخل الخلية . ويستخدم جانب آخر من الطاقة في الحركة ، فالبكتريا مثلا يوزمها لكي تتحرك أن تبذل الطاقة ويلزم النبات لكي يدفع مجرده إلى أسفل بين حبيبات التربة التي تقاومه أن يبذل الطاقة ، كما أنه يبذلها لكي يجرح فلقته من تحت سطح الأرض ليخرج من بين ثنائياها الريشة وهكذا .

أما أهم نواحي بذر الطاقة هو استخدامها ثانية في البناء ، وكما رأينا في بناء المواد الأروية أن الطاقة التي يستخدمها النبات في هذا السبيل إنما يحصل عليها من هدم بعض المواد الكربوهيدراتية أو مشتقاتها وكذلك الحان في بناء المواد الدهنية ، إذ أن هاتان العمليتان لا تستعمل فيهما الطاقة الشمسية بصورة مباشرة . ويعتبر التنفس في النباتات مثلا راصعا من أمثلة الهدم

### التنفس Respiration

التنفس عملية تحدث في الخلايا الحية لنبات أو الحيوان على السواء . وفي كلتا الحالتين يحصل الكائن الحي على الأكسجين الجوي ويؤكسده به بعض المواد الغذائية المخزنة في جسمه ، فتتحلل هذه المواد الغذائية إلى مكوناتها الأصلية أو إلى مركبات وسيطة وتطلق الطاقة . لذلك فإن التنفس يصحبه نقص في الوزن الجاف .

والواقع أن عملية التنفس هي عملية احتراق أو أكسدة بطيئة فإنك إذا أحرقت قطعة من السكر أو السيلولوز (وهما مادتان كربوهيدراتيتان) فإنك تستعمل

الأكسجين الجوي في أكسنتها أو أحر قهما وتنطلق الطاقة ويصحب ذلك محلل المادة إلى مكوّناتها الأصلية وهي ثاني أكسيد الكربون والماء .

و ترجع معلوماتنا عن التنفس إلى عام (١٧٧٧) عندما أوضح Scheele أن البودر الناتجة من أكسجين وتطلق ك  $\frac{1}{2}$  كما أثبت Ingen - Housz أن النباتات تخرج ثاني أكسيد الكربون في الظلام .

و يعتبر De Saussure ( ١٧٩٧ ) أول من درس التنفس دراسة كمية وأثبت أن حجم ك  $\frac{1}{2}$  المتعلق من عملية التنفس يساوى حجم  $\frac{1}{2}$  الممتص . كما أظهر أن الانبات والنو يوقفان على درجة امداد النبات بمار الأكسجين وفي عام ( ١٨٢٢ ) أوضح أن درجة حرارة الأزهار ترتفع عندما تمتص الأكسجين لتنفسها .

لم يتقدم البحث في موضوع التنفس بعد هذا التاريخ لمدة ٤٠ سنة نتيجة الخلط بين موضوعي التنفس والتمثيل ، إلى أن أوضح Sachs (١٨٦٥) أن عملية التنفس تحدث ليلاً ونهاراً في كل خلايا الحية وأنها تختلف اختلافاً تاماً عن عملية التمثيل التي لا تحدث إلا في الخلايا الحية الخضر . وفي ضوء الشمس .

### أنواع التنفس :

هناك ثلاثة أنواع من التنفس تحدث في خلايا النباتات الحية وهي .  
١ - التنفس الهوائي ٢ - التنفس اللاهوائي ٣ - التنفس الخاص بالبكتريا

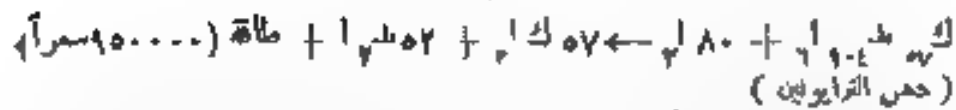
#### أولاً: التنفس الهوائي Aerobic respiration

وهو أكثر أنواع التنفس شيعاً وفيه يتعلق قدر كبير من الطاقة نتيجة لأكسدة بعض المواد العضوية كالكربوهيدرات والدهون والبروتينات بواسطة أكسجين الهواء الجوي .

فعندما تتأكسد المادة الكربوهيدراتية أكسدة تامة، كأن يتأكسد سكر الجلوكوز مثلاً، فإن التفاعل تصوره المعادلة :

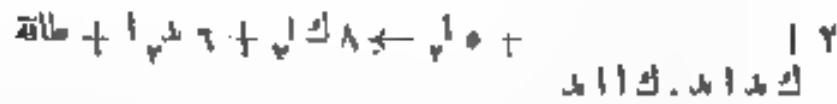


و المعادلة الآتية تبين أكسدة دهن الترايولين :



وهناك أدلة كافية على أن البروتين يستعمل في تنفس النباتات الرأقية عند نقص المواد الكربوايدراتية والسكرية بها .

ولقد ثبت أن طهر الاسبرجلس نيجر *Aspergillus niger* يمكنه أن يستعمل في تنفسه البتون والأحماض العضوية مثل حامض الطرطريك كما في المعادلة الآتية .



وهناك نوع آخر من التنفس الهوائي يحدث في النباتات العصارية خصوصاً عندما يحدث التنفس في الظلام . فإن المادة الكربوايدراتية لا تتأكسد أكسدة تامة نتيجة لعدم سهولة تبادل الغازات في أنسجتها المتشعبة . وتؤدي الأكسدة الغير تامة إلى تكوين الأحماض العضوية كحامض المالك *Malic acid* والأكساليك *Oxalic acid* والمعادلة الآتية تبين أكسدة جزئية الجلوكوز أكسدة غير تامة إلى حامض المالك .

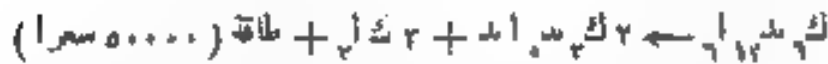


فإذا طال مكث النباتات العصارية في الظلام فإن إنتاج الأحماض العضوية يأخذ في القلة . وفي نفس الوقت يبدأ خروج ك أ بكميات مبردة . أما عند تعرضها للضوء فإن الأحماض العضوية تتحلل إلى ثاني أكسيد الكربون الذي يستعمل بالتالي في عملية التمثيل الضوئي .

وتشابه النباتات العصارية ، النباتات ذات الأوراق الملونة بالأحمر ، نتيجة لإحتوائها على صبغة الأنثوسيانين . فإن أوراق هذه النباتات تمتص الأكسجين وتكون الأحماض العضوية بدرجة أكثر من مثيلاتها من الأوراق الخضراء لنفس النبات

## ثانياً: التنفس العر هوائي Anaerobic respiration

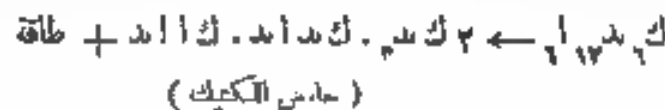
عندما تنفس النباتات بحرق عن الأكسجين أو في جو من الأوزون ، فإن المادة الكربوهيدراتية المستعملة في التنفس (ولكن الجلوكوز مثلاً) لا تتأكسد إلى ثوابتها المعروفة ، بل تسلك طريقاً آخر وينتهي الأمر بأن يتكون كحول الإيثانول وثاني أكسيد الكربون وينطلق قدر ضئيل من الطاقة .



ويشاهد هذا النوع من التنفس ما يحدث في عملية الاحتار الكحول في فطر الخبيرة . والنباتات الرأقية يمكنها حراوة هذا النوع من التنفس لمدة قصيرة نسبياً ، ويختلف هذه المدة باختلاف نوع النبات ، ولا يمكنها أن تستمر في ممارستها مدة طويلة للبدن : الأول : لأن جميع التفاعلات البناية لا تستمر في غياب الأكسجين .

الثاني . لأن كحول الإيثانول الناتج يؤثر في البروتوبلازم الحى ويتلف قشوره (راجع النفاذية) .

وهناك أنواع خاصة من البكتريا يمكنها أن تعيش وتنشط في ظروف غير هوائية أو في تركيبات منخفضة من غاز الأكسجين مثل بكتريا الكتيك والبيوتريك Lactic and butyric و بكتريا عكس التأزت . فعندما تنفس بكتريا حامض اللكتيك *Bacterium lactic acid* فإنها تنتج حامض الكتيك من سكر الجلوكوز وسكر الجلكتوز وتنتج الطاقة :



أما بكتريا *Bacillus butyricus* فإنها تنتج ثاني أكسيد الكربون والإيدروجين والطاقة بجانب حامض البيوتريك .

ك<sub>١</sub> مد<sub>١</sub> + ١/٢ س<sub>٨</sub> ك<sub>١</sub> مد<sub>١</sub> . ك<sub>١</sub> مد<sub>١</sub> . ك<sub>١</sub> مد<sub>١</sub> + ١/٢ ك<sub>١</sub> مد<sub>١</sub> + ١/٢ مد<sub>١</sub> + طاقة  
( حامض البيوتريك )

أما في بكتريا عكس التأزت *Bacillus denitrificans* فإن السكر يهدم إلى الكحول  
ومائي أكسيد الكربون وفي نفس الوقت تفتزل البكتريا المواد الأزوتية في يثتها إلى  
النشادر أو الأروت باستعمال الطاقة الناتجة من هدم السكر وينتج عن ذلك إنتاج  
الأكسجين الذي تؤكسد به المركبات الكربوهيدراتية بالطريق العادي .

### ثالثاً — التنفس الخاص بالبكتريا :

تزاول بعض أنواع من البكتريا نوعاً خاصاً من التنفس نستعمل فيها الأكسجين  
وتتفرد الطاقة . مثلاً تؤكسد بكتريا النيتروموناس *Nitrosomonas* النشادر أو أملاحه  
إلى الأزوتيات .

٢ ن مد<sub>١</sub> + ١/٢ س<sub>٨</sub> ك<sub>١</sub> مد<sub>١</sub> ← ٢ ن مد<sub>١</sub> + ١/٢ مد<sub>١</sub> + طاقة  
ونقوم بكتريا الأزوتوباكتر *Azotobacter* التي تعيش في نفس البيئة التي تعيش  
فيها البكتريا السابقة بأكسدة الأزوتت إلى أزوتات .

٢ ن مد<sub>١</sub> + ١/٢ س<sub>٨</sub> ك<sub>١</sub> مد<sub>١</sub> ← ٢ ن مد<sub>١</sub> + ١/٢ مد<sub>١</sub> + طاقة  
وتستخدم البكتريا الطاقة الناتجة في بناء المواد الكربوهيدراتية في أجسامها من  
ك<sub>١</sub> مد<sub>١</sub> ( راجع البناء الكيماوي ) .  
وتحصل بكتريا الأيدروجين على الطاقة بأكسدة الأيدروجين إلى الماء .

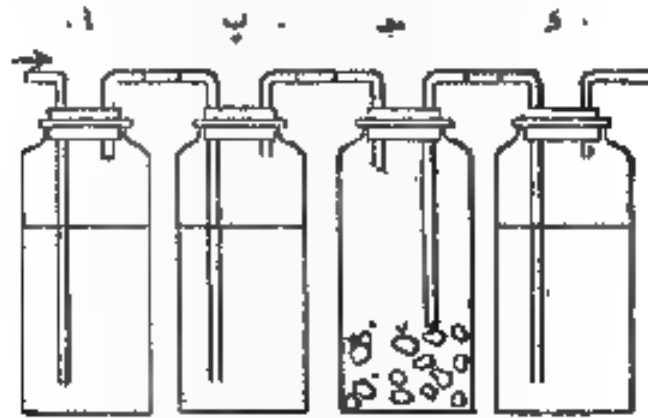
٢ ن مد<sub>١</sub> + ١/٢ س<sub>٨</sub> ك<sub>١</sub> مد<sub>١</sub> ← ٢ ن مد<sub>١</sub> + ١/٢ مد<sub>١</sub> + طاقة

### بعض الظواهر التي تحدث أثناء تنفس النباتات :

التنفس عملية لا تحدث إلا في الخلايا الحية . ويصحب التنفس بعض الظواهر  
الهامة منها استهلاك الأكسجين ( في حالة التنفس الهوائي ) وخروج ثاني أكسيد  
الكربون ( في كلا من نوعي التنفس ) وإنتاج الكحول ( في حالة التنفس اللاهوائي )  
وانخفاض الرطوبة الجفاف ، واحتماء مادة التنفس تدريجياً ، وارتفاع درجة حرارة  
الأنسجة المنتجة .

### ١ - إنبعاث ثاني أكسيد الكربون أثناء تنفس النباتات الخضراء للزراعية :

لإنبعاث ثاني أكسيد الكربون ينبعث أثناء عملية التنفس لمحصّر جهازاً كالمبيد (بالشكل ٣٨) ويتكون من أربعة زجاجات معطاة بسدادات من المطاط تنفذ منها أنابيب توصيل زجاجية بالنظام المبين في الشكل . ويوضع في الزجاج الأولى محلولاً مركزاً من الصودا الكاوية ، وفي الزجاج الثانية محلول أيدروكسيد الباريوم ، ويوضع في



( شكل ٣٨ )

جهاز لإنبعاث خروج ثاني أكسيد الكربون أثناء تنفس الدور

الزجاجية الثلاثة الأعضاء النباتية المنتفخة أو الدور الحية النابتة ، أما الزجاج الرابعة فيوضع فيها محلول أيدروكسيد الباريوم أيضاً ، ونوصل أنبوبة الزجاج الرابعة بجهاز تفريغ الهواء أو بالمضخة الزجاجية المائنة المستعملة في الرشيع Filter pump - عند تشغيل المضخة يدخل الهواء الجوي في الزجاج الأولى فيمتص محلول الصودا الكاوية المركز ما يوجد فيه من غاز ثاني أكسيد الكربون ثم يمر الغاز في محلول أيدروكسيد الباريوم في الزجاج الثانية فلا يسبب تعكيره لخلوه من ثاني أكسيد الكربون ، ويمر الغاز بعد ذلك على الأعضاء المنتفخة فيحمل معه ثاني أكسيد الكربون الناتج من التنفس لدى عند مروره على أيدروكسيد الباريوم في الزجاج الرابعة فإنه يعكره .

## ٢- إنتاج ثاني أكسيد الكربون وكحول الإيثانيل في عملية التنفس اللاهوائي

للمعطر الخنيرة .

تملأ أبوبة اختبار إلى النصف تقريباً بمحلول مخفف ( ٥ ٪ مثلاً ) من سكر الجلوكوز ثم يضاف إليها معلق الخنيرة ويحكم قفل الأنبوبة بسدادها الذي تنفقه أبوبة توصيل . توضع الأبوبة بمحترباتها في حمام مائي تتراوح درجة حرارته بين ٢٥. - ٣٧.°م . وتوضع أنبوبة التوصيل في أبوبة تحتوي على محلول ايدروكسيد الباريوم ، فيلاحظ بعد مدة قبيلة خروج فقاعات من الغاز من طرف أبوبة التوصيل الذي يعكر ايدروكسيد الباريوم دليلاً على أنه غاز ثاني أكسيد الكربون . فإذا ما اختبر محلول السكر والخنيرة لكحول الإيثانيل أعطى نتيجة إيجابية .

## ٣- انخفاض الوزن الجاف واحتماء مادة التنفس تدريجياً أثناء عملية التنفس :

المادة الجافة هي ما يتبقى بعد تسخين وزن معين من العصور النباتي على درجة حرارة ١٠٥.°م مدة من الزمن حتى يشتت الوزن . هذه المادة المتبقية بعد التخلص من الماء هي عبارة عن المواد الكربوهيدراتية والأرونية والدهنية بالإضافة إلى بعض الأملاح والأحماض العضوية . عند تنفس الأوراق أو الدور ، يلاحظ انخفاض وزنها الجاف تدريجياً كما يلاحظ في الوقت نفسه نقص تدريجي في المواد الكربوهيدراتية أو الدهنية مما يدل على استهلاكها في عملية التنفس . وقد وجد أن محتوى البنود العشوية من المواد الكربوهيدراتية يأخذ في النقص أثناء إنباتها وتنفسها . ذلك لأن خروج ثاني أكسيد الكربون يسبب بعد عنصر الكربون من النبات . وحيث أن المواد الكربوهيدراتية هي أيسر المواد الكربونية وأسهلها مثلاً للنبات ، فإن النبات يستعملها في تنفسه وينطلق ثاني أكسيد الكربون وينخفض تبعاً لذلك الوزن الجاف للنبات . فإذا ما تمزقت المواد الكربوهيدراتية سهلة الأكسدة من خلايا النبات المتنفس ، فإنه يأخذ في استعمال المواد المعدنية الأخرى في تنفسه فقد وجد Godwin (١٩٢١) في تجاربه على تنفس أوراق نبات Cherry lauret في الظلام أن الأوراق أصبحت

أولاً في تنفسها المواد الكربوهيدراتية فتحلل النشاء الموجود في الأوراق إلى سكريات تستعملها النباتات في تنفسه وعند نفاذ المادة الكربوهيدراتية تماماً فإن النبات يبدأ في هدم البروتينات اللازمة واستعمله في تنفسه .

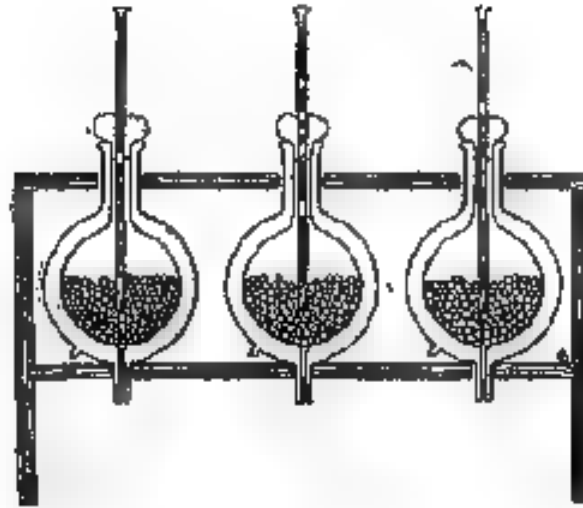
وبما هو جدير بالملاحظة أن الورقة الجافة للأوراق في الحضر <sup>٨٥</sup> ينمض أثناء الليل لاستهلاك بعض الغذاء المتخزن فيها في التنفس . والنباتات متساقطة الأوراق ينمض أوراقها الجافة في فصل الشتاء وفي مراحل النمو الأولى في الربيع ؛ فعندما ينشط نمو البراعم والبراعم مراراً ومرة تظهر الأوراق على الأغصان فإن مواد التنفس المدخرة في الخلايا البرانشيمية تسحب وتؤكسد وتستعمل في التنفس ويتبع ذلك انخفاض موزنها الجاف ولا يمكن تعويض هذا النقص في الوزن الجاف حتى يتم انسداد الأوراق وتنشط عملية البناء الضوئي .

#### ٤ — انطلاق الطاقة الحرارية أثناء التنفس .

لإنبات اسكات الحرارة أثناء التنفس نستعمل زجاجات ترموس Thermos flasks ( شكل ٣٩ ) ويوضع في الزجاجات الأولى منور حبة مائة وفي الثانية كمية أخرى من نفس البذور بعد قتلها برصعها في ماء بفضلي مدة دقيقة ، وفي الثالثة ترصع كمية ثالثة من البذور النابتة بعد قتلها بماء الساخن وإضافة محلول ١٪ من كلورور الزئبق الذي يمنع نمو الكائنات الحية الدقيقة . ثم تسد فوهة كل زجاجة بقطعة من القطن وتزود ترمومتر حساس ، وتترك الزجاجات بعض الوقت ، يلاحظ بعدها ارتفاع درجة الحرارة وثمانية لبضعة أيام في الزجاجات الأولى المحتوية على المنور الحية الثانية . أما بدور الزجاجات الثانية فلا ترتفع درجة حرارتها إلا بعد يومين عندما يبدأ الكائنات الحية الدقيقة ( البكتريا والفطر ) في النمو على المنور الميتة . أما بدور الزجاجات الثالثة الميتة والمعاملة بكلورور الزئبق فلا ترتفع درجة حرارتها عن درجة حرارة الجو وتظل ثالثة طول مدة التجربة

ويست ارتفاع درجة الحرارة في الزجاجات الأولى لأن البذور تنمست وأكسدت





( شكل ٢٩ )

ايمان الحوازة أثناء عملية التنفس

يحتوى الزجاج الأولى على بدور حية ناجة .

ويحتوى الزجاج الثانية على بنور ناجة قطعت في ماء يثل .

ويحتوى الزجاج الثالثة على بدور ناجة قطعت في ماء يثل وأضيف إليها ٩ ٪ من

عوى كلورور الزئبق ليمنع نمو الكائنات الحية الدقيقة ( عى توماس )

مادة التنفس فاعطى قدر من الطاقة على شكل حرارة . أما في الزجاج الثانية فإن  
الحرارة درجة الحرارة يمرى إلى نمو وتكاثر وتنفس الكائنات الحية الدقيقة التي  
نمت على البدور الميتة

### معامل التنفس Respiratory quotient

يطلق معامل التنفس على النسبة بالحجم بين ك<sub>٢</sub> المنطلق أثناء عملية التنفس إلى

$$\left( \frac{V_{CO_2}}{V_{O_2}} \right)$$

وحدد لحص معادلات التنفس السابقة ، يتضح أن معامل التنفس يختلف باختلافه

تركيب مادة التنفس Respiratory substrate المستعملة ، كما يختلف باختلافه

نوع التنفس .

إذا كانت مادة التنفس مادة كربوهيدراتية وكانت الأكسدة تامة فإن معامل التنفس يقرب دائماً من الوحدة :

$$\begin{aligned} & \text{ك} \frac{1}{12} \text{مد} + \frac{1}{2} \text{مد} \leftarrow \text{ك} \frac{1}{2} \text{مد} + \frac{1}{2} \text{مد} + \text{طاقة} \\ & \text{معامل التنفس} = \frac{\text{ك} \frac{1}{12} \text{مد}}{\frac{1}{2} \text{مد}} = 1 \end{aligned}$$

أما إذا كانت أكسدة المادة الكربوهيدراتية المستعملة في التنفس غير تامة . وتنتج الأحماض العضوية كما في تنفس النباتات العصارية ، فإن معامل التنفس يقل عن الوحدة . أما إذا تأكسدت المادة جميعها إلى حامض عضوي ولم ينتج ك<sub>٢</sub> بالمرّة فإن معامل التنفس يصبح مساوياً للصفر كما يحدث عند أكسدة الجلوكونز إلى حمض المالبك

$$\begin{aligned} & \text{ك} \frac{1}{12} \text{مد} \leftarrow \text{ك} \frac{1}{12} \text{مد} \\ & 2 \text{ك} \frac{1}{12} \text{مد} + \frac{1}{2} \text{مد} \leftarrow 3 \text{ك} \frac{1}{12} \text{مد} + \frac{1}{2} \text{مد} + \text{طاقة} \\ & \text{ك} \frac{1}{12} \text{مد} \leftarrow \text{ك} \frac{1}{12} \text{مد} \\ & \text{( حمض المالبك )} \end{aligned}$$

$$\text{معامل التنفس} = \frac{\text{صفر ك} \frac{1}{12}}{\frac{1}{2} \text{مد}} = \frac{\text{صفر}}{3} = \text{صفر}$$

أما إذا استعمل الدهن ك مادة للتنفس فإنها تحتاج إلى كميات أكبر من الأكسجين لكن تأكسد أكسدة تامة إلى ثاني أكسيد الكربون والماء عما في حالة الكربوهيدرات ( أنظر معادلة الترايولين ) .

$$\text{معامل التنفس} = \frac{57 \text{ ك} \frac{1}{12}}{\frac{1}{2} \text{مد}} = \frac{57}{80} = 0.7 \text{ تقريباً}$$

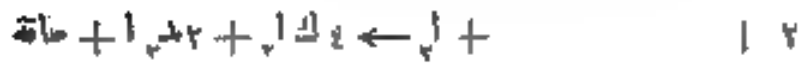
وإذا كانت مادة التنفس غنية في الأكسجين كالأحماض العضوية فإن معامل التنفس دائماً يكون أكبر من الوحدة . فو حالة أكسدة حمض الطرطريك فإنه يساوي ١.٦

وفي حالة حامض الأكساليك يساوي ٤ ( أنظر معادلة حامض الطرطريك ) .

$$\text{معامل التنفس} = \frac{8}{5} = \frac{8 \text{ ك أ}}{5 \text{ أ}} = 1.6$$

أما في حامض الأكساليك فإن الأكسدة تحدث طبقاً للمعادلة

( أ أ د )



( ك أ د )

( حامض الأكساليك )

$$\text{معامل التنفس} = \frac{4}{1} = \frac{4 \text{ ك أ}}{1 \text{ أ}} = 4$$

ورداً استعمل حامض اللبليك فإن معامل التنفس يساوي ١.٣٣

( أ د أ د - ك أ د )



( ك أ د - ك أ د )

( حامض الماليك )

$$\text{معامل التنفس} = \frac{4}{3} = \frac{4 \text{ ك أ}}{3 \text{ أ}} = 1.33$$

العوامل التي تؤثر على قيمة معامل التنفس

١ - درجة الحرارة .

يسبب روع درجة الحرارة حول الأعضاء المتفسدة سرعة تحلل وأكسدة الأحماض العضوية التي تكون قد تراكمت داخل الأنسجة العضلية في درجات الحرارة المنخفضة مما ينعكس على زيادة معامل التنفس زيادة ملحوظة نظراً لزيادة ك أ الم المنطلق .

وهي درجة حرارة بلور الشمع زاد معامل تنفس زيادة ظاهرة أما إذا رفعت درجة الحرارة عن ٥٤°م فإن ذلك يضر بحياة البروتوبلازم ويقف التنفس .

## ٢ — تركيز الأكسجين

إذا انخفض تركيز الأكسجين حول الأنسجة المتنفسة عن حد معين يختلف باختلاف النباتات ( فإن معامل التنفس يزداد زيادة واضحة لحدوث التنفس اللاهوائي إلى جانب التنفس الهوائي لأن الأول ينتج فيه ك<sup>١</sup> بدون استهلاك الأكسجين .  
والجدول الآتي يبين هذه الظاهرة ] مأخوذة من نتائج Sticher ( ١٨٩١ ) [

النبات المستعمل	تركيز الأكسجين	معامل التنفس
بادرات النخ	٢٠,٠ %	٠,٩٨
	٩,٠ %	٠,٩٤
	٥,٠ %	٠,٩٣
	٣,٠ %	٣,٣٤
بادرات البصل	٢٠,٨ %	٠,٨٢
	٩,٢ %	٠,٨٦
	٣,٥ %	٢,٣١
	٢٠,٨ %	٠,٩٦
أبصال النرجس	١٠,٢ %	١,٠٤
	٧,٥ %	٢,٣٦

## ٣ — تركيز ثاني أكسيد الكربون

لزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون حول النبات تأثير مشبط على عملية التنفس فيؤثر في معدل خروج ثاني أكسيد الكربون أكثر مما يؤثر على معدل امتصاص الأكسجين وذلك يؤدي إلى انخفاض معامل التنفس .

### طرق قياس معدل التنفس :

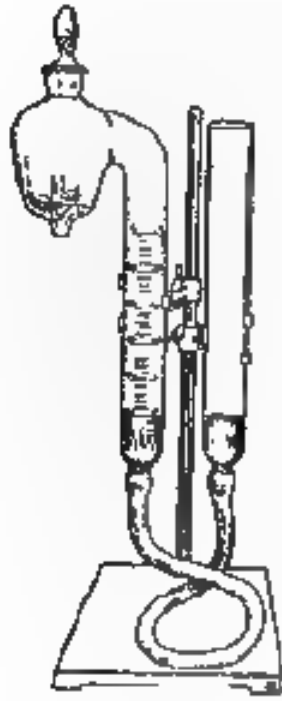
يستعمل لقياس معدل التنفس إما تقدير الأكسجين الممتص أو ثاني أكسيد الكربون المنطلق . وقد استعمل لذلك النمرس أجهزة كثيرة تكون في أبسطها لها من حجرة محكمة الأنفل يوضع داخلها الجزء الثاني المراد تقدير معدل تنفسه وتحتوى الحجرة على مخلوط غازي معروف التركيب . وبعد مدة من الزمن تقدر كمية الأكسجين المتبقية في الحجرة في معدل الضغط والحرارة . وذلك بامتصاصه بواسطة حمض البيروجينيك كما تقدر كمية ثاني أكسيد الكربون باستعمال مادة تمتصه مثل أيدروكسيد البوتاسيوم . وفيما يلي شرح بعض الأجهزة والطرق الأكثر استعمالاً في قياس معدل التنفس ، مع ملاحظة أنه عند استعمال نباتات خضراء في التجربة أن يجب صب الضوء حتى لا تحدث عملية البناء الضوئي أثناء التجربة فيستهلك كإنتاج في عملية التمثيل الضوئي قبل أن يتمكن من معادله النبات مما يؤدي إلى نتائج لا تمثل واقع عملية التنفس ، أو تستعمل أعضاء نباتية خالية من المادة الخضراء كالذور النابتة مثلاً أو البهار التي لا تحتوي على مواد ملونة خضراء

#### ١ — جهاز جانوج Ganong's respirometer

لاستعمال هذا الجهاز يوضع ٢ سم<sup>٣</sup> من النسيج النباتي في مستودع الجهاز ثم يوضع في مانومتر الجهاز محلول مركز من كلورور الصوديوم ( يستعمل هذا المحلول لأن ثاني أكسيد الكربون لا يقبل الذوبان فيه ) . وقبل بدء التجربة يحرك غطاء الجهاز حتى تتقابل فتحة الغطاء مع الفتحة الموجودة في رفة المستودع وذلك لتسوية الضغط الداخلي بالجهاز بالضغط الجوي الخارجي . ثم يصعد ارتفاع المحلول المغمى في ساق المانومتر الثابتة على رقم ١٠٠ وذلك معناه أن النسيج النباتي يحاط بمقدار من الهواء قدره ١٠٠ سم<sup>٣</sup> ونبدأ التجربة بتحريك غطاء المستودع ، وبذلك ينقطع الاتصال بين النبات المستعمل والجو الخارجي . ( انظر شكل ٤٠ ) .

يرك الجهاز بعض الوقت . ويلاحظ من حين لآخر التغير الذي يطرأ على سطح

المحول الملحي في ساق المانومتر . فإذا لم يتغير سطح السائل دل ذلك على أن النسيج النباتي يستعمل في تنفسه مادة كربوايدائية لأن حجم الأكسجين المنقص



( شكل ١٠ )

جهاز جنوتغ

( من يونس )

في هذه الحالة يساوى حجم ثاني أكسيد الكربون المنطلق ( معامل التنفس = ١ ) . فإذا أصبحت بصع قطع من الصودا الكاوية إلى المحول الملحي ( ويكون ذلك عن طريق الساق الأخرى غير المدرجة وتحريك أنبوبة المطاط باحتراس حتى تتصل الصودا الكاوية إلى ساق المانومتر المدرجة وتنفو في المحول الملحي ) فإن الصودا الكاوية تمتص ثاني أكسيد الكربون الموجود في الساق المدرجة ، ويرتفع سطح المحول الملحي تبعاً لذلك ويمكن حينئذ قياس حجم الغاز .

أما إذا كانت المادة التي يستعملها النبات في تنفسه هي مادة دهنية . فإن النبات يمتص كمية من الأكسجين أكبر من التي يخرجها من ثاني أكسيد الكربون ، ويرتفع تبعاً لذلك المحول الملحي في ساق المانومتر المدرجة . فإذا فرضنا أن حجم غاز الأكسجين الزائد

هو  $x$  ويساوى قيمة ارتفاع السائل في الساق المدرجة فإذا أصبحت الصودا الكاوية فإنها تمتص ثاني أكسيد الكربون الناتج ويتبع ذلك زيادة ارتفاع المحول في الساق ، ورمزنا لحجم ثاني أكسيد الكربون بالرمز  $y$  فإن مجموع حجم الأكسجين الممتص يكون  $(x + y)$  وبذلك يكون محاس التنفس مساوياً

$$\frac{y}{x + y}$$

وحيث أن أحجام الغازات تتغير بتغير درجة الحرارة فإنه يجب تصحيح نتائج هذا الجهاز تبعاً لذلك للحصول على نتائج صحيحة . ولإجراءات ذلك يستعمل جهاز



تأخذ الحجرات درجة حرارة الحمام المائي ثم يحرك المسار دحرجة ، يضغط على أبرة المطاط « د » فيدفع السائل الذي بها حتى يصل إلى التدريج صفر في الساق اليمنى للأنومتر ثم يفعل الصمام « د » ويعرف الوقت ويسجل .

ولتحسين معامل التنفس يلزم استعمال مبدئين ناقلين مجانسين يستعمل أحدهما في تقدير محتوى المحاليل المستعملة من ك<sub>٢</sub> أو ويجرى ذلك بأن يصب الحامض من الوعاء « ح » إلى الترفه « ا » فيدل ارتفاع المحلول في ساق الأنومتر على كمية ك<sub>٢</sub> المتصاعدة . أما المادة النباتية الثانية والموضوعة في الجهاز الآخر فإنها تترك لتنفس ، وبعد انتهاء التجربة يقاس الأكسجين المستهلك بأن يصب الحامض كما في الجهاز الأول فيصاعد ك<sub>٢</sub> الناتج من التنفس والذي يكون قد امتص بواسطة غلوب أيسروكسيدالموتانيوم ويمكن إيجاد معامل التنفس بالمعادلة التالية :

$$\text{حجم ك} \frac{\text{الناتج النهائي الناتج بالمليتر المكعب} - \text{حجم ك} \frac{\text{الأصلي}}{\text{حجم الأكسجين المستهلك}}}$$

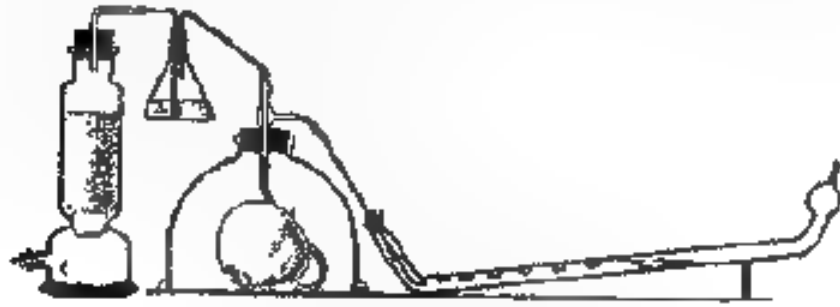
### ٣ - جهاز الكاثارومتر Katharometer

في عام (١٩٢١) اقترح Stiles & Leach استعمال الكاثارومتر لقياس معدل التنفس بدقة متناهية . والنظرية التي بنى عليها هذا الجهاز هي تغير درجة مقاومة سلك بلاتيني لمروود تيار كهربائي باختلاف تركيب الغاز المحيط بالسلك البلاتيني . ويترك الجهاز من أبرة رجائية داخل سلك ملفوف من البلاتين الذي ترتفع درجة حرارته عند إمرار تيار كهربائي فيه . ويمكن تقدير درجة مقاومته للتيار الكهربائي بتقدير درجة التوصيل الحراري للغازات المحيطة به ، فمعد تنفس النبات فإن تركيز كل من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون يتغير ، وهذا يؤدي إلى تغير درجة التوصيل الحراري لخليط الغاز الذي يؤثر على درجة حرارة السلك كما يؤثر على درجة مقاومته للكهرباء . ومضلاع دقة هذا الجهاز فإنه يمكن أخذ تسجيلات مستمرة لتركيز ثاني أكسيد الكربون طول مدة التجربة .



### ع - طريقة الغاز المستمر Continuous gas method

يحصل دائماً عند قياس معدل التنفس أن يمرر تيار هوائى خال من ك<sub>٢</sub>ام على النسيج النباتى المتنفس بدلا من وضعه في حيز مغلق . ثم يمرر الغاز الناتج من عملية التنفس في محلول خاص لامتصاص ك<sub>٢</sub>ام كما في (شكل ٢٢) يمرر الهواء



( شكل ٢٢ )

طريقة الغاز المستمر في قياس التنفس ( عن بوملس )

الجزى أولا على برج زجاجى يحتوى على الصودا الجيرية Soda lime لامتصاص كل ك<sub>٢</sub>ام ، ثم يمرر الغاز في الدورق المخروطى المتصل بالجهاز ويحتوى على محلول أييدروكسيد الباريوم لتأكد من خلوّه من ثانى أكسيد الكربون ، وبعد ذلك يمرر الغاز على العضو أو النسيج النباتى الذى يتنفس والموضوع تحت أنفاوس الزجاجى ، ويمرر الغاز بعد التنفس في أنبوبة زجاجية خاصة تعرف بأنبوبة بيتنكوفر Pettenkofer tube تحتوى على محلول معروف الحجم والقوة من أييدروكسيد الباريوم . يترك الجهاز للعمل لمدة معينة ثم يقدر ثانى أكسيد الكربون الممتص في الأنبوبة بواسطة عمية تعادل بسيطة بمحاض كلوردريك معروف القوة

وفي جميع الطرق السابق شرحها يحدد معدل التنفس بدرجة تبادل الغازات بين النسيج النباتى والجو المحيط به . إلا أنه يتطلب الأمر أحيانا تقدير كمية المادة الغذائية التى استهلكها فعلا في عملية التنفس وهذا لا يمكن إيجراؤه إلا عند قتل النسيج النباتى وتحليله . والطريقة الوحيدة لذلك هو أن تستعمل مجموعة واحدة متجانسة من النسيج النباتى ( كالثاد مثلا ) في مبدأ التجربة ، ثم يجرى تحليل بعض هذه العينات على قترات

تختلف باختلاف مدة التجربة . وتحسب النتائج بطرق إحصائية خاصة لتقليل الخطأ التجريبي والخطأ الناتج من اختلاف العينات فيما بينها ومنها يمكن دراسة التعبير في تركيز مادة التنفس طول مدة التجربة .

ويختلف معدل التنفس اختلافاً كبيراً باختلاف الأعضاء النباتية المستعملة . مثلاً تعتبر البكتريا والفطر من أنشط النباتات في تنفسها ومعدل تنفس نباتات الظل والنباتات العصارية تكون أقل من معدل تنفس النباتات العادية . وفي النباتات الزائفة يزيد معدل تنفس الأجزاء النامية والحديثة التكوين عن الأعضاء المسنة فالأزهار مثلاً والأبراعم الطرفية يزيد معدل تنفسها عن أجزاء النبات الأخرى .

### العوامل التي تؤثر في معدل عملية التنفس :

#### ١ - الماء :

تصبح أهمية الماء كعوامل تؤثر في معدل التنفس عند دراسة تنفس البذور فقد وجد أن البذور الناضجة الجافة جفافاً هوائياً والتي تحتوي على نسبة من الماء تتراوح بين ١٠ - ١٢ ٪ تكاد لا تحدث فيها عملية التنفس ، وأنه وإن كان التنفس أحد ظواهر الحياة ، وأن البذور الجافة الناضجة هي أعضاء نباتية حية . إلا أنه عند قياس تنفسها بالأجهزة التي بين أيدينا لا يظهر بها ما يشهد أنها تزاوّل عملية التنفس . وعلى ذلك فإنه لا يمكن القطع بأن البذور الجافة لا تنفس ولكن يمكن اعتبارها أعضاء نباتية متسمة وإنما يحدث بها التنفس بمعدل ضئيل جداً لا يمكن قياسه بأجهزةنا العادية . وعلى كل حال فإن معدل تنفسها يزداد عندما يرداد محتواها المائي بامتصاص الماء ويبدأ في الإنبات .

والجدول الآتي بين العلاقة بين معدل التنفس ودرجة الرطوبة في جوب الفصح

( عن Peirce )

درجة الرطوبة في المائة	ك أ <sup>٢</sup> الناتج في ٢٤ ساعة لكل ١٠٠ جم من المادة الجافة بالمليجرام
١٢,٠٠	٠,٥٤
١٣,٩٣	٠,٦٥
١٤,٧٨	٠,٨٦
١٥,١٢	١,٦٢
١٧,٩٧	١١,٧٢

ومن تجارب Bailey and Gurjar أن حيوب القمح احتوت على ٠,١٦٪ من السكريات المختزلة عندما كان محتواها المائي ١٢٪ ولكن عندما امتصت الماء ولمت له ٢٤ ساعة ارتفع محتواها السكري إلى ٠,٥٩٪ ولما تركت ٢٤ ساعة أخرى زاد المحتوى السكري إلى ١,١٪ أي أن امتصاص الماء سبب زيادة مادة التنفس وهي السكر. وترجع هذه الزيادة إلى أن أنزيم الأميليز قام بتحليل النشا المدخول في الحبوب إلى السكر الذي يراكم ويترسب في الحبوب استعداداً لاستهلاكه في عملية التنفس.

#### ٢. سبب درجة الحرارة

مدرس تأثير الحرارة على معدل التنفس في بادرات السلة حيث تركت لتبيت لمدة ٤ أيام في درجة حرارة ٢٥°، ثم قسمت البادرات إلى مجاميع، وقلبت بادرات كل مجموعة إلى درجة حرارة خاصة وقيس معدل تنفسها. فوجد أن معدل التنفس انخفض انحصاراً تدريجياً أعقبه ثبات في معدل التنفس عندما تركت لتتنفس في درجة حرارة أقل من ٢٥°م. أما عند نقل البادرات إلى درجة ٣٥°م فإن معدل تنفسها زاد تدريجياً ثم ثبت بعد وقت معين. وقد وجد أن المعامل الحراري لتنفس هذه البادرات بين درجة الصفر ودرجة ٣٥°م يساوي ٢ — ٢,٣، وهذا يطابق تماماً قانون فانت هوف الخاص بتأثير الحرارة على معدل سير التفاعلات الكيميائية. أما

حت وضع البادرات في درجة حراره فوق  $35^{\circ}\text{C}$  فإن معدل التنفس اذ ينع ارتفاعاً مبدئياً أعقبه هبوط سريع ورائت سرعة الهبوط بزيادة درجة الحرارة المستعملة .  
و يعزل الارتفاع المسد في معدل التنفس في درجات الحرارة فوق  $35^{\circ}\text{C}$  إلى ما للحرارة من تأثير على سرعة سير التفاعل الكيماوى ، إلا أنها في الوقت نفسه لها تأثير ضار على حيوية البروتوبلازم . وهذا يعسر الهبوط المفاجئ في معدل التنفس بعد قليل من الزمن عندما تأثر البروتوبلازم .

#### ٢ — المادة المستعملة في التنفس : Respiratory substrate

يتوقف معدل التنفس على درجة تركيز مادة التنفس الذاتية . مثلاً يكون معدل التنفس في درنات البطاطس منخفضاً رغم احتوائها على نسبة من النشاء تبلغ  $17\%$  إلا أن درجة تركيز السكريات بها منخفضة وبلغ حوالي  $4\%$  . لأن هذه السكريات هي المادة التي تستهلك في التنفس وليس النشاء . وقد أوضح Hanes and Barker ( ١٩٣١ ) أن معدل التنفس في درنات البطاطس يزداد بازدياد محتواها السكري . فقد وجد أن المحتوى السكري زاد عند تعريض الدرناات لجو محتوى على غار سامض الأيدروسيانيك (  $14\%$  —  $3\%$  سم<sup>٣</sup> لكل لتر من الهواء ) وأن معدل تنفسها زاد نمواً فذلك عن الدرناات التي لم تعامل بالماز . وقد لاحظ ماركر ( ١٩٣٣ ) أن تركيز السكر في درنات البطاطس زاد عشر مرات عن تركيزه الأصلي عندما حفظت في درجة حرارة  $1^{\circ}\text{C}$  لمدة ثلاثة شهور، وذلك بمفارتها بالدرناات المحفوظة في درجة  $15^{\circ}\text{C}$  وأن معدل تنفس الدرناات الأولى كان أعلا بكثير من معدل تنفس الدرناات الأخيرة نظراً لوفرة مادة التنفس . وعندما أعيدت الدرناات السكرية إلى درجة  $15^{\circ}\text{C}$  ، فإن محتواها السكري نقص نقصاً سريعاً إلى أن تساوى مع الدرناات العادية . ويرجع هذا الانخفاض في المحتوى السكري للدرناات السكرية عند رفع درجة حرارتها من  $1^{\circ}\text{C}$  —  $15^{\circ}\text{C}$  إلى زيادة معدل التنفس في درجة الحرارة العالية وكذلك إلى تحول جزء كبير من السكر إلى النشاء .

وثمة تجربة أخرى أثبت بها Kosinska ( ١٩٠٢ ) علاقة التنفس بتركيز مادة

التنفس على قطر الاسبرجلس *Aspergillus niger* - وقد وجد أن معدل التنفس رات زيادة ملحوظة عند تعذية العطر بمحلول سكر الجلوكوز ، وأن هذا المعدل انخفض انخفاصاً كبيراً عندما استبدل محلول الجلوكوز بالماء المقطر ، فإذا ما استبدل الماء بمحلول السكر ثانية زاد معدل التنفس

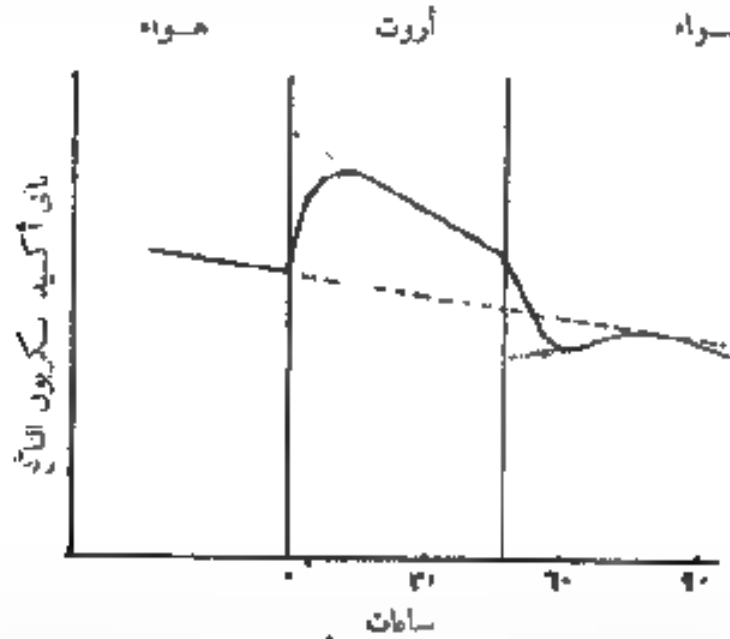
وفي عام ( ١٩٣٧ ) قام سعيد بتغذية أقراص من الجذر بمحاييل سكرية من السكرور والجلوكوز والفانور والجلكتوز والموتوز فلاحظ أن خلايا النبات امتصت السكريات المختلفة من محاييلها . وأن معدل تنفسها زاد زيادة ملحوظة ص طائرها التي تركت في الماء المعطر للذئابة

وقد قام كثير من العلماء ببحث نوع السكر الذي يستعمله النبات كمادة يستعملها للتنفس واختلفت آرائهم في هذا الموضوع إلى أن أثبتت Mrs. Onslow ( ١٩٣١ ) أن النبات يستعمل سكر المركنوز للنشط ( فيورانور ) الذي ينتج في خلايا النبات إما نتيجة لتحلل السكرور تحليلاً مائياً فينتج المركنوز النشط مباشرة ، وإما أن ينتج بطريق غير مباشر من حمضية فمفرة الهكسوزات العادية وقد أثبت الجرادى ( ١٩٣٥ ) وسعيد ( ١٩٣٧ ) أنه عند تنفس النباتات المحتوية على السكرور والهكسوزات فإنها تفضل الأول كمادة للتنفس ، ويأخذ محتواه في النقص حتى يصل تركيزه إلى الصفر ، بينما لا يزال النبات محتوياً على كمية كبيرة نسبياً من الهكسوزات . أما إذا لم تحو أنسجة النبات على السكرور فإن النبات ينجأ إلى استعمال الهكسوزات في التنفس . والخلاصة أن النبات يستعمل أى مادة سكرية في تنفسه ، وأن له القدرة على تحويل أى نوع من السكريات إلى الآخر .

#### ٤ - تركيز الأكسجين الجوى .

في عام ( ١٨٩١ ) أوضح Stich أن معدل التنفس لا يتغير إذا انخفض تركيز الأكسجين حول النبات عن تركيزه العادى في الهواء الجوى ( ٢٠,٩ ٪ ) إلى تركيز ٥ ٪ فإذا انخفض تركيز الأكسجين عن هذا القدر فإن معدل التنفس يرتفع ارتفاعاً مفاجئاً نتيجة لحدوث التنفس اللاهوائى في خلايا النبات .

أما الأبحاث الحديثة التي قام بها F. F. Blackman and Pariza (١٩٢٨) فقد أظهرت أن معدل التنفس يتغير بأى تغير يحدث في تركيز الأكسجين حول النبات . وقد استعملوا في أبحاثها على التنفس ثمار التفاح ولاحظوا أنه في غياب الأكسجين تماماً أن ثاني أكسيد الكربون الناتج يكون دائماً أكثر منه في حالة التنفس في وجود الأكسجين . وشكل (٤٣) يوضح التغير في ثاني أكسيد الكربون الناتج من ثمرة تفاح نقلت من الهواء الجوي



(شكل ٤٣) تنفس ثمرة التفاح عند نقلها من الهواء الجوي إلى الأزوت ومنه إلى الهواء الجوي ثانية (عزف . ف . بلاكان)

إلى جو من غاز الأزوت ثم أعيدت بعد ذلك للتنفس في الهواء العادي ، وقد أظهر هذان الباحثان أن ثمرة التفاح يمكنها أن تظل في جو من الأزوت مدة ٥٥ ساعة بدون أن تتلف . وعندما نقلت إلى الأزوت لوحظ ارتفاع مفاجيء في معدل ثاني أكسيد الكربون الناتج واستمر هذا الارتفاع لمدة بضع ساعات ثم أخذ المعدل في الانخفاض ولكن إلى معدل أعلى مما لو تركت الثمرة تنفس في الهواء العادي طول الوقت المستعمل في التجربة . فإذا أعيد نقل التفاحة من الجو الأزوتي لتنفس في الهواء الجوي من معنى ٥٥ ساعة من تنفسها في الأزوت فإن معدل التنفس يهبط

مضطرباً مريضاً ليصبح ساهمت تسنرد بعدها ثمرة التماح حالتها الطبيعية ومرتفع معدن تنفسها كما لو كانت تنفس تنفساً عادياً .

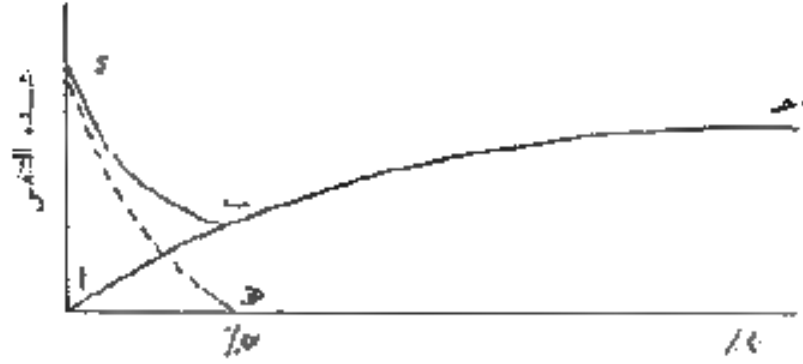
وقد أوضح بلا كان ومعاونوه ( ١٩٢٨ - ١٩٣٢ ) أنه عندما وضعت الثمرة في جو من الأروث يحتوي على ٣ - ٥ ٪ أكسجين فإن ثاني أكسيد الكربون الناتج يكون بعضه ناتجاً من التنفس الهوائي والآخر ناتجاً من التنفس اللاهوائي .  
والجدول التالي يبين العلاقة بين نوعي التنفس في تركيزات مختلفة من الأكسجين ( هو Thomas & Fidler ) ( ١٩٣٢ ) .

تركيز الأكسجين				نوع الناتج من ثمرة التماح بالمليجرام لكل ١٠٠ سم من الوزن الرطب في مدة ١٠٠ ساعة
٠ ٪	٢,٩ ٪	٥,٣ ٪	٢١,٠ ٪	
٦٣١	٤٩٩	٤٩٣	٥٦٧	ثاني أكسيد الكربون السكلي
٦٣١	٦٧	٥	حمر	ناتج من التنفس اللاهوائي
صفر	١٢٢	٤٨٨	٥٦٧	الهوائي

ومنه ينصح أنه كلما زاد تركيز الأكسجين في الجو المحيط بالثمرة فإن ثاني أكسيد الكربون الناتج من التنفس الهوائي يأخذ في الزيادة بينما ينقص الناتج منه من التنفس اللاهوائي بسرعة .

وعندما يصل تركيز الأكسجين إلى ٥ ٪ فإن جميع ثاني أكسيد الكربون الناتج يكون نتيجة للتنفس الهوائي الصرف ( شكل ٤٤ ) فإذا زاد تركيز الأكسجين عن ٥ ٪ فإن الثمرة تنفس تنفساً هوائياً وأى زيادة في تركيز الأكسجين من ٥ ٪ إلى ١٠٠ ٪ تصحبها زيادة في ثاني أكسيد الكربون الناتج .

ربما يجب ملاحظته أن درجة تركيز الأكسجين التي عندها يقف التنفس اللاهوائي تماماً تختلف من نبات إلى نبات وحتى في النبات الواحد ، فقد وجد مثلاً أنها في الثمار الصغيرة للتماح تكون ٥ ٪ بين ترواح في الثمار كبيرة السن بين ٩ - ١٠ ٪ .



تركيز الأكسجين

(شكل ٤٤) رسم تخطيطي يبين العلاقة التنفس في النبات بدرجة تركيز الأكسجين - يبين المنحنى ( د هـ ) ثاني أكسيد الكربون الناتج أثناء التنفس اللاهوائي . ويبين المنحنى ( ا ب ) باقي أكسيد الكربون الناتج أثناء التنفس الهوائي عندما كان تركيز الأكسجين بين صفر و ٥٪ أما المنحنى ( د ب - ) يبين التغير الذي يحدث في تنفس النبات في تركيزات مختلفة من الأكسجين .

#### ٥ - تركيز ثاني أكسيد الكربون حول النبات

إذا تراكم فلز ثاني أكسيد الكربون حول النبات المتنفس فإن ذلك يؤدي إلى خفض معدل تنفسه . والجدول الآتي يبين هذه العلاقة من نتائج Kidd (١٩١٥) [ عند قياس الأكسجين المستهلك وثاني أكسيد الكربون الناتج عن تنفس بدور نبات *Sinapis alba* في الجو العادي باستعمال تركيزات مختلفة من ثاني أكسيد الكربون .

معدل التنفس	ك إ ا الناتج في ٤٠ ساعة	الأكسجين المستهلك في ٤٠ ساعة	تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو المستعمل
٠,٨٧	١٧٣ سم <sup>٣</sup>	١٩٧ سم <sup>٣</sup>	٠ ٪
٠,٨٥	١٥٨	١٨٥	١٠ ٪
٠,٧٥	٩٦	١٢٢	٢٠ ٪
٠,٧٢	٧٥	١٠٤	٣٠ ٪
٠,٦٣	٦١	٩٧	٤٠ ٪
٠,٤٥	٤١	٩٠	٨٠ ٪



وقد استغنت ظاهرة انخفاض معدل التنفس عند زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون حول النبات في عملية حفظ المواد الغذائية . فإذا أحيطت ثمار التفاح مثلاً بجو يحتوي على ١٢٪ من ثاني أكسيد الكربون فإن معدل تنفسها ينخفض إلى أقل حد ممكن وبذلك يمكن إطالة مدة حفظها بدون أن تلف . وتسهل هذه الطريقة الآن في حفظ الثمار والخضروات الطازجة عند نقلها إلى مسافات طويلة في بواخر الشحن ، فإنها توضع في حجرات مروية بأجهزة أوتوماتيكية لحفظ تركيز ثاني أكسيد الكربون حولها حتى لا ينقص ولا يزيد عن ١٣٪ بدلاً من طريقة حفظها في درجات حرارة منخفضة التي كانت تسبب مصاريف باهظة فضلاً عن التلف الذي كان يلحق بالثمار إذا ما جمعت .

أما إذا زاد تركيز ثاني أكسيد الكربون عن ١٣٪ فإن الثمار تعجز عن مراولة عملية التنفس الهوائي ولا يمكنها استهلاك الأكسجين الموجود في الجو وتكون النتيجة أن يتكون في خلايا النبات كحور الأيثانيل والاسيتالدهيد إلى جانب ثاني أكسيد الكربون الناتج من تنفسها تنفساً لا هوائياً ومعروف أن الاسيتالدهيد مادة سامة لخلايا النبات وتسبب اسمرار وموت كثير من الخلايا . وقد أطلق توماس Thomas (١٩٣١) على هذا النوع من التنفس اللاهوائي بالتنفس اللاهوائي غير المادي Carbon dioxide zymasis وذلك لاختلافه عن التنفس اللاهوائي العادي المعروف Anaerobic zymasis or anaerobic respiration

#### ٦ — الضوء :

يظهر أن التجارب التي أجراها الباحثون في تأثير الضوء على عملية التنفس ليست من السكثرة بحيث يمكن الاعتماد عليها في إظهار تأثيره في التنفس ففي عام ( ١٨٨٤ ) وجد Bonnier & Mangin زيادة طفيفة في معدل تنفس النباتات المصاة . وقد استعملت نباتات حالية من المادة الخضراء في هذه التجربة حتى لا تمرى الزيادة في ثاني أكسيد الكربون الناتج إلى زيادة تركيز مادة التنفس الناتجة من عملية البناء الضوئي . وقد وجد أن معدل تنفس بادرات القمح في الضوء زاد زيادة طفيفة عنه

عندما تمتص البادرات في الظلام وقد قسرت هذه الزيادة بأن الأكسجين تزداد قدرته على الأكسدة في الضوء عنه في الظلام.

وعندما استعملت الأوراق البيضاء لنبات الأرابيا *Arabis* وجد أن تعريضها للضوء وبو لفترة قصيرة زاد في معدل تنفسها ، وقد قسرت هذه الزيادة إلى تأثير الضوء الذي يزيد من نشاط الأزيمات ونعاديه الدونوملارم وبذلك تنمو المادة اللازمة للتنفس ويزداد معدله .

وقد اتضح أن للضوء تأثيراً على تنفس النباتات العسارية (راجع تنفس النباتات العسارية) إذ أنه يسبب تحلل الأحماض العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء ويزداد تبعاً لذلك معدل التنفس .

#### ٧ - تأثير إضافة بعض المواد الكيميائية .

لإضافة بعض المواد الكيميائية تأثير كبير على تنفس الخلايا . فقد وجد أن محاليل المصنعة للأملاح المعدنية والأحماض غير العضوية تزيد من معدل تنفس الخلايا ووجد أنه عند إضافة محاليل مخففة جداً يراوح تركيزها بين ٠.٠٠٥ - ٠.٠٦٪ من كبريتات الزنك وكبريتات الحديد وكبريتات المنجنيز زاد ذلك في معدل إنتاج سطر الأسبرجلس لثاني أكسيد الكربون . وعندما استعملت النباتات الراقية وجد Landegordh (١٩٣٣ - ١٩٣٧) وسמיד والتشيني (١٩٤٠ - ١٩٤٤) وآخرون أن معدل تنفسها زاد زيادة ملحوظة عندما أضيفت إلى يثانها محاليل الأملاح المخففة . كذلك وجد أن استهلاك محلول مخفف من حامض الأرونيك وأزوتات البوتاسيوم يزيد في معدل تنفسها كذلك حدث نفس الشيء عندما زيدت قلوية محاليلها الغذائية أو عند تعريضها لبخار النشادر .

وظهر أن حامض الأيدروسيانيك وكبريتور الأيدروجين وأول أكسيد الكربون ، توقف عملية التنفس ، وذلك بإبطال عمل أنزيمات الأكسدة . وكذلك تؤثر المواد المخدرة كالأثير والكورورومورم على التنفس فتقلل من معدله . وبما هو جدير بالملاحظة أن تأثير هذه المواد يكون غير عكسي عند استئصالها بتركيزات عالية .

أما التركيزات المنخفضة فإنها تسبب زيادة في معدل التنفس ، الذي يستمر طالما وجدت هذه التركيزات. أما التركيزات المتوسطة فإنها تسبب زيادة مبدئية يمتد بها الانخفاض في معدل التنفس إلى درجة أقل من المعتاد وكلما زاد تركيز المادة المنخفضة كان النقص سريعاً .

#### ٨ — تأثير إحداث الجروح

كان Boehm ( ١٨٨٦ ) أول من لاحظ تأثير الجروح على معدل التنفس ، فقد أوضح أنه عند تقطيع درنات البطاطس أدى ذلك إلى زيادة في معدل تنفسها وفي عام ( ١٨٩١ ) أثبت Stich أن الزيادة في معدل تنفس درنات البطاطس المقطعة يمكن تمييزه إلى أجل حد يمكن إذا غطيت الأسطح المقطوعة بالزهر أو سحت مع بعضها ثابته بحلول الجيلاتين . وقد عرّى Richards ( ١٨٩٦ ) هذه الزيادة في معدل التنفس الناتجة من قطع درنات البطاطس وغيرها من الأعصام النباتية إلى سببين :

الأول : أن القطع يستب مرعة خروج وانبعاث ثاني أكسيد الكربون الموجود

في المسافات البينية وحلايا النباتات

والثاني . أن عملية القطع نفسها أو إحداث الجرح لها تأثير في زيادة معدل تنفس النسيج المقطوع عند السطح وأن هذه الزيادة بلغت أقصاها بعد يومين ثم أهدأت في الانخفاض التدريجي إلى أن أصبح التنفس عادياً وقد أوضح سعيد والشيخيني ( ١٩٤٧ ) أن عملية القطع تسبب تغيراً في حالة الخلايا المحيطة بالقطع مما يؤدي إلى زيادة معدل تنفسها ومن تجارب Audus ( ١٩٤٠ ) أن القطع لا يؤثر في معدل تنفس النباتات إذا كانت الأنسجة محاطة بمحلول من الأكسجين وأن الزيادة في معدل التنفس إنما تعزى إلى الجانب التأكدي من عملية التنفس وهذا لا يحدث إلا في وجود الأكسجين

#### العلاقة بين نوعي التنفس الهوائي واللاهوائي في النبات

The relation between aerobic and anaerobic respiration

رأينا مما سبق أن النباتات عندما تغد عن الجو العادي ، فإنها تستمر في عملية التنفس إلى حين ، وتحصل على الطاقة اللازمة لها من تحليل جزئي الهكسوز إلى

الكحول وثاني أكسيد الكربون وقد أطلق Kostyschev (١٩٠٢) على هذه التفرع من التنفس «التنفس اللاهوائي» وأنه ليس ضرورياً عند مراولة النباتات هذه النوع من التنفس أن ينتج الكحول وثاني أكسيد الكربون كنتائج نهائية للعملية . وقد تحدث في بعض النباتات طبقاً للمعادلة :



فتتلاقى التنفس اللاهوائي لنباتات البطاطس قد لا يظهر الكحول إطلاقاً ويعسر ذلك بأحد احتمالين .

الأول - إما أن الكحول ينتج طبقاً للمعادلة السابقة ولكنه يستعمل مباشرة حال ظهوره في تفاعلات أخرى .

الثاني : أن العملية تسير في غيرهما المعروف وتنتج مواد أخرى غير كحول الايثانول .

ولدعم الرأي الأخير - قام Kostyschev (١٩٠٢ - ١٩٠٤) بتربية فطر الأسبرجلس في بيئة تحتوي على مادة كربوايسرانة وأخرى تحتوي على ببتون فلاحظ أنه في الحالة الأولى تنبع من تنفس الفطر تنفساً لاهوائياً الكحول وثاني أكسيد الكربون ، أما في الحالة الثانية فلم ينتج الكحول في التنفس اللاهوائي . وعلى ذلك فإن عملية التنفس اللاهوائي في فطر الأسبرجلس تختلف باختلاف إعادة العدائية المستعملة . وقد أوضح كثير من الباحثين أن الأسيدالدهيد وكثير من الأحماض العضوية كحمض الأكساليك والفورميك والحليك تنتج ضمناً مع مزيج عمدة التنفس اللاهوائي وبما يوحي بأن عملية التحمر الكحولي في فطر الخميرة والتنفس اللاهوائي في النباتات الراقية إنما هما عمليتان متشابهتان موجودتان معاً الرئيس الذي يسبب التحمر الكحولي في الخميرة في خلايا النباتات الراقية ، وأنه وإن لم ينتج الكحول في بعض عمليات التنفس اللاهوائي لبعض النباتات الراقية فإن ذلك يرجع إلى أن العملية ربما توقفت عند مرحلة سابقة لإنتاج كحول الايثانول .

وقد درس كثير من العلماء علاقة التنفس الهوائي بعملية التنفس اللاهوائي ويمكن تفخيض ما وصلوا إليه من نتائج في النظريتين الآتيتين :

### النظرية الأولى :

وأنصار هذه النظرية هم Pfeffer ( ١٨٨٥ ) و Kostyshev ( ١٩٠٤ ) و Backman ( ١٩٢٨ ) ومؤداها أن التنفس يحدث على مراحل متعقدة وأن هناك نواتج وسطية تنتج بفعل أنزيم الزيميز . ففي الظروف اللاهوائية تسير هذه النواتج الوسطية في طريقها المأزدي إلى إنتاج الكحول وثنائي أكسيد الكربون أما في الظروف الهوائية فإن هذه النواتج الوسطية تتأكسد بفعل أنزيمات التأكسد إلى أس. وثنائي أكسيد الكربون ( والشكل ٤٥ ) يوضح هذه النظرية .

#### مكسوزات

↓  
بواسطة معقد الزيميز

↓  
نواتج وسطية

المرسور جليسيريك - سامض البيروميك . الاسيتالدهيد

↓  
في غياب الأكسجين  
بواسطة معقد الزيميز

↓  
الكحول  
وثنائي أكسيد الكربون

↓  
في وجود الأكسجين  
بواسطة أنزيمات التأكسد

↓  
ثنائي أكسيد الكربون  
والماء

( شكل ٤٥ ) بين العلاقة بين نوعي التنفس كما افترضها بلاكان وأنصار نظريته

ومن الحقائق التي دعمت بها هذه النظرية الملاحظات الآتية :

١ - تمكن Klean من فصل الاسيتالدهيد من أنسجة النباتات الراقية أثناء تنفسها تنفساً هوائياً وقد عرفنا أن هذه المادة تنتج أيضاً عند تنفس قطر الخيرة تنفساً لاهوائياً أثناء التخمير الكحولي .

٢ — لاحظ Kostyshev أن أنزيمات التأكسد تعبر عن أكسدة السكريات مباشرة ، إلا أنه يستطيع أكسدة نفس هذه السكريات إذا أضيف إليها فطر الخميرة والذي يشطبها ويحللها إلى نواتج وسطية يسهل على أنزيمات التأكسد أكسدتها

٣ — عند إمداد البادرات الثامية بالسكريات المتخمرة فإن معدل تنفسها يزداد عن معدل تنفس بادرات أخرى من نفس النوع تعمدى بسكريات عادية . وذلك يدل على أن النباتات تعضل وتنفسها النواتج الوسيطة لتعبدى لنفسها عن السكريات الأصلية.

النظرية الثانية .

أما أنصار هذه النظرية فهم العلماء Lundsgaard (١٩٣٠) و Boyesen-Jensen (١٩٣١) و Lipman (١٩٣٣) .

و يعتقد أنصار هذه النظرية أنه لا يوجد علاقة ما بين أكسدة السكر إلى  $\text{CO}_2$  والماء في عملية التنفس الهوائي وبين انحلاله إلى الكحول وثاني أكسيد الكربون في عملية التخمير اللاهوائي أو التخمير الكحولي . وبناءً على ذلك فإن التخمير لا يعتمد على تحليل السكر إلى الكحول وثاني أكسيد الكربون في حالتيه الأوكسجين ، أما في حالة وجود الأوكسجين فإن السكر يؤكسد إلى ثاني أكسيد الكربون والماء .

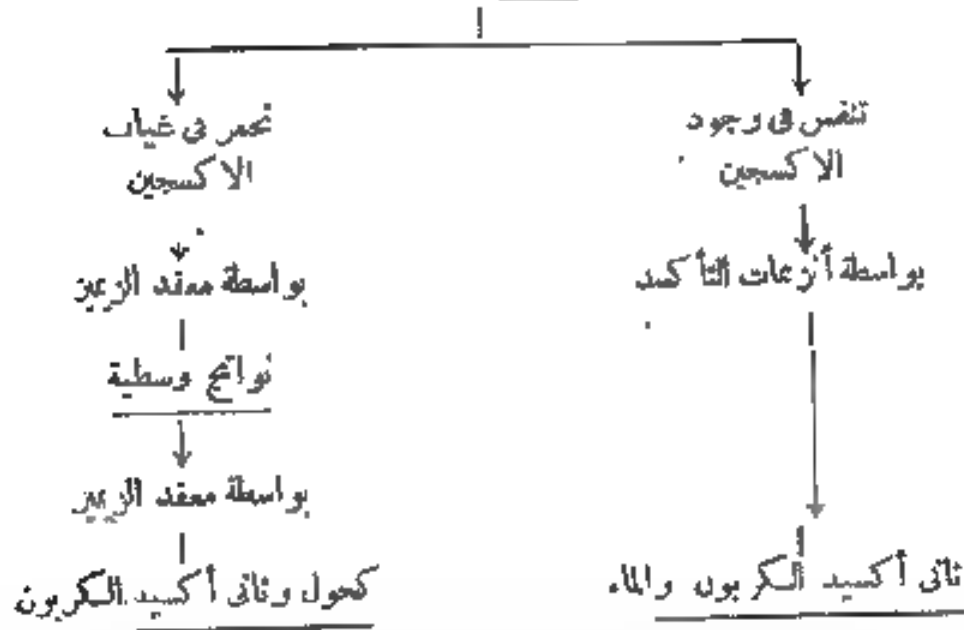
فإنزيمات أخرى خلافاً لمعتقد الزيمير . ويمكن توضيح هذه العلاقة بالرسم الآتي (شكل ٤٦)

وقد بنى هذا الرأي على ما يأتي :

لاحظ Lundsgaard أنه عند إضافة مادة يودوخلات الصوديوم فإن ذلك يمنع عملية التخمير الكحولي منعاً تاماً . أما عند إضافة هذه المادة بنفس التركيز السابق إلى الخميرة مع نموها فإنها تستمر في تنفسها الهوائي وإن الودوخلات في غائب .<sup>١</sup> تمنع تكوين النواتج الوسيطة .

بناءً على هذه الاكتشافات أثبت Lundsgaard خطأ النظرية الأولى التي توجب وجود العلاقة بين نوعي التنفس لعدم إنتاج النواتج الوسيطة التي يعبر عنها منها نوعي التنفس

## مكسورات



( شكل ١٦ )

العلاقة بين نوعي التنفس كما افترضها ليجان وأنصاره

إلا أن بلايكان وأنصاره لم يقفوا مكتوفي الأيدي أمام هذه التحدي . وتمام أحد تلاميذه Turner ( ١٩٢٧ ) بدراسة تأثير يودوخلات الصوديوم على التنفس والتخمير في أفراس الجرر وفطر الخبيرة وأوضح أن نظريته بلايكان ما زالت صحيحة وقائفة ، وأنه من السهل مناقضة نتائج Lundsgaard إذ أن تأثير مادة اليودوخلات على إيقاف عملية التخمير الكحولي إنما يعمل في وجود الأكسجين . ففي إحدى تجاربه لاحظ أنه عملية التخمير في أفراس الجرر لم تتأثر تأثيراً يذكر عندما كان تركيز الأكسجين ٢١٪ وأنه عند إضافة السودوخلات بتركيز ١:١٠٠٠ فإن عملية التخمير أوقفت تماماً بعد مضي ٥ - ٦ ساعات في جو من الآزوت أما عندما كان تركيز الأكسجين ٢١٪ فإن التخمير قل تدريجياً وبعد ٨ ساعات كان معدل النشاط قد قل ٩٥٪ عن نشاطه الأصلي . خلاص Turner من هذه النتائج إلى أن تأثير اليودوخلات في إيقاف إنتاج النواتج الوسطية يقل في وجود الأكسجين عند استهلاكها بتركيزات منخفضة .

أما عندما يكون تركيبها عالياً فإنها توقف عملية إنتاج النواتج الوسطية فتوقف عملية الشمس والتحرر معاً وقد يكون الأكسجين سلباً في تقليل نفاذية الخلية للسود وحالات أو أنه يعطل تفاعل السود وحالات مع بعض محتويات الخلية التي لو تفاعلت معها لتنتج من ذلك وقف عملية إنتاج النواتج الوسطية

والنتيجة هي أنه لا زالت هناك علاقة بين نوعي التنفس الهوائي واللاهوائي كما اقترحها بلاكن

### البناء التأكسدي Oxidative anabolism

في عام ( ١٩٢٣ ) أوضح Wieland أنه عندما تنفس النباتات في معزل عن الهواء، فإنه ينتج من تنفسها ثاني أكسيد الكربون والكحول . فإذا نقلت هذه النباتات إلى الهواء أو الأكسجين فإن حوالي ٤٥ ٪ من الكحول الناتج نتيجة لتنفس اللاهوائي يتأكسد إلى ثاني أكسيد الكربون والماء وأن ٣٥ ٪ منه يتأكسد جزئياً إلى حامض الخليك أما الباقي فيعاد بناؤه إلى المادة الكربوهيدراتية .

ويروى بلاكن ( ١٩٢٨ ) أن بعض النواتج الوسطية يعاد بناؤها إلى أصلها في وجود الأكسجين بطريقة سماها بالبناء التأكسدي ، وأن أكثر من ثلاثة أرباع هذه المركبات الوسطية يعاد بناؤها أما الباقي فإنه يسير في طريقه العادي لإنتاج ك<sub>١</sub> والماء . وبما يبرز نظرية البناء التأكسدي أنه تحليل النتائج التي حصل عليها من تنفس ثمار التمعاج عند نقلها من الهواء الجوي إلى الآزوت ( شكل ٤٣ ) لاحظ أن إنتاج ثاني أكسيد الكربون ارتفع فجأة وبسرعة واستمرت هذه الزيادة مدة ٧ - ١٠ ساعات حتى انتهى تأثير نقل الثمار من الجو العادي إلى الجو الآزوتي وأخذ المنحنى بحراه الطبيعي في غياب الأكسجين ( تنفس لاهوائي ت . ل ) . وبواسطة مد منحنى التنفس اللاهوائي في الاتجاه العكسي استطاع بلاكن أن يبين معدل التنفس اللاهوائي وقت تحول الثمار من الهواء إلى الآزوت . وقد لاحظ في كل التجارب التي أجريت أن قيمة التنفس اللاهوائي عند نقطة الاندفاع التي تصورها تعدل مرة ونصف مرة معدل التنفس الهوائي ( ت . ه ) الثمار عند نقطة التحول



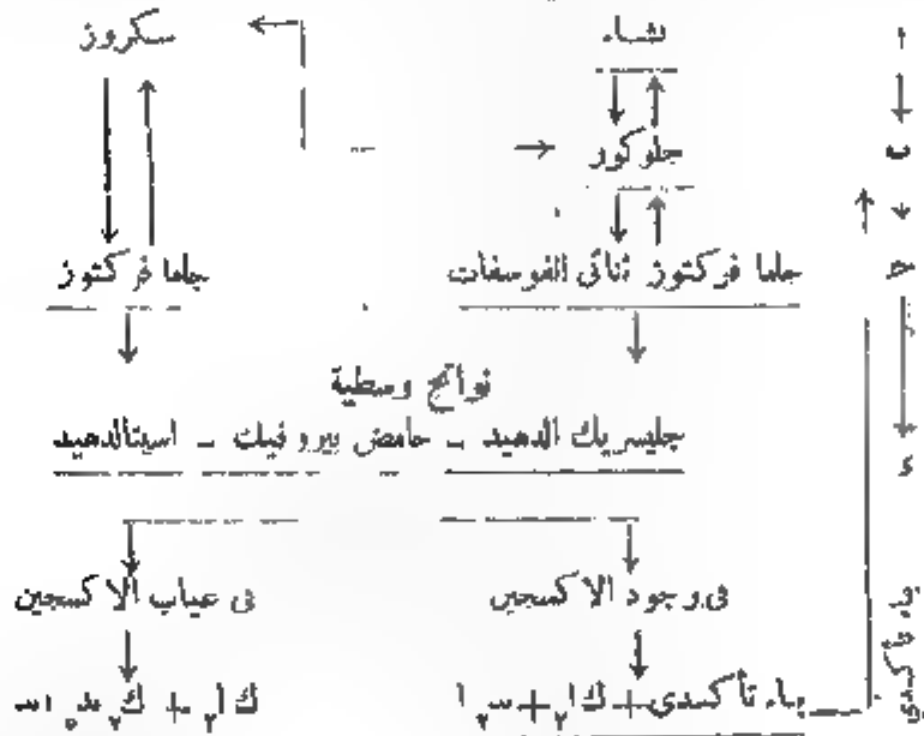
وحيث أنه في التنفس اللاهوائي يحون  $\frac{1}{2}$  الكربون في المادة الوسطية لعملية التنفس إلى ثاني أكسيد الكربون  $\frac{1}{2}$  الكربون إلى كحول الايثايل ، فإن كمية كربون مادة التنفس المستهلكة في عملية التنفس اللاهوائي تساوي ثلاثة أضعاف كمية الكربون الناتجة على صورة ثاني أكسيد الكربون .

وحيث أن كمية ثاني أكسيد الكربون الناتجة من التنفس اللاهوائي تساوي ١,٥ مرة عما ينتج منه في حالة التنفس الهوائي كما سبق إيضاحه فإن :

$$\text{كربون المادة المستهلكة} = ٣ (ت. ل) = ١,٥ \times ٢ (ت. هـ)$$

$$= ٤,٥ (ت. هـ)$$

ومعنى ذلك أنه لكي ينتج وحدة كربونية واحدة على صورة ثاني أكسيد الكربون في عملية التنفس الهوائي لا بد أن يسبقها تحلل ٤,٥ وحدة كربونية من مادة التنفس . وعلى ذلك فإنه مقابل خروج وحدة كربونية كثنائي أكسيد كربون يعاد بناء ٣,٥ وحدة كربونية أى أن كمية الكربون المعاد بناؤها في عملية البناء التأكسدي تساوي ٣,٥ مرة قيمة الكربون الناتج على هيئة ثاني أكسيد الكربون في التنفس الهوائي .



(شكل ٤٧) التنفس في النباتات كما يتصوره بلاكمان

فإذا فرضنا أن ( ١ ) تمثل امانه الكربوايدراتية التي يستهلك في عملية التنفس ( نشاء أو سكروز ) فإنها تتحلل تحليلًا مائياً إلى هكسوزات ( ب ) ثم تنشط هذه الهكسوزات لتتحول في النهاية إلى حمض بيروكس ( ح ) ثم يبدأ عملية الأكسدة فتنتج النواتج الوسطية ( و ) تحتوي على ذرتين أو ثلاثة ذرات من الكربون مثل ( جليسيريك الدهيد و حامض البيروفيك و الاستالدهيد ) وتدخل هذه المواد في آخر مرحلة من مراحل التفاعل . ويتوقف طريق سلوكها في التفاعل على وجود أو غياب الأكسجين ففي غياب الأكسجين فإن هذه النواتج الوسطية تتحلل نهائياً إلى ثاني أكسيد الكربون وكحول الايثانين . ويمكن قياس معدل إنتاج ثاني أكسيد الكربون وعند حسابه نجد أنه لكل ذرة من الكربون نتجت على صورة ثاني أكسيد الكربون يقابلها إفراز ذرتين من الكربون في أنسجة النبات على صورة كحول الايثانين .

أما في وجود الأكسجين الجوي أو الأكسجين بدرجات مختلفة من التركيز فإن التنفس يسلك طريقاً آخر ، فإذا كان تركيز الأكسجين كافياً فإن جميع النواتج الوسطية ( و ) تتأكسد وتعطى ( ك + ١ + ٢ ) + البناء التأكسدي ولا يوجد في هذه لحالة أي أثر للتنفس اللاهوائي ومنتجاته .

وتسمى درجة تركيز الأكسجين التي يتوقف عندها الأكسجين اللازم لأكسدة النواتج الوسطية أي التي يكون فيها قدر الأكسجين كافياً بالصيغة لا كسدها والتي يكون جميع ثاني أكسيد الكربون الناتج فيها من عملية التنفس الهوائي فقط . نقطة الانتهاء للتنفس اللاهوائي = Extinction point of anaerobic respiration

أما إذا لم يكن تركيز الأكسجين كافياً لأكسدة ( و ) فإن بعض النواتج الوسطية تتأكسد معطية ( ك + ٢ + ١ ) + البناء التأكسدي ويكون ثاني أكسيد الكربون الناتج خليطاً من ( ت . هـ ) و ( ت . ل )

أما إذا زاد تركيز الأكسجين عن التركيز اللازم لأكسدة ( و ) - كأن يكون تركيزه كتركيز الأكسجين الجوي ( ٢٠ ٪ ) تقريباً ، فإن الزيادة في الأكسجين تزيد في سرعة إنتاج المواد الوسطية ( و ) وهذه بالتالي تزيد من سرعة الأكسدة فيزيد معدل التنفس تبعاً لذلك .

# الباب العاشر

## انتقال المواد الدائبة

### Translocation of Solutes

لما كانت المواد الغذائية و الماء قاتقل بين خلايا النبات ، اتضححت أهمية دراسة الطريق الذى تسلكه هذه المواد فى أنسجة النبات لكي تتعمل من مكان يتوفر فيه وجودها إلى مكان آخر تسعر الحاجة إليها ، أو إلى أما كن تخزنها .

وقد اتضح من تجارب تحمیل الاوراق ، أن ما يصنع فيها من مواد غذائية كالمواد السكرية و البروتينية و الازونية المصنوية تكون من السكرية بحيث توجد عن احتياجاتها . لذلك فإن هذه المواد الزائدة عن الحاجة تنقل إلى حيث تستهلك فى أما كن اخرى أو تخزن فى أما كن التخزين إما بصفة مؤقتة أو بصفة دائمة .

ولما كانت معظم المواد التى يتم صنعها فى الاوراق و بعض الاجزاء الاخرى من النبات معقدة التركيب كالنشاء و البروتين ، وكل هذه المواد غير قابلة للانتقال و التحرك بين خلايا و أنسجة النبات نظراً لسكر و وحداتها ، فإيه لكي يتم نقلها لا بد أن تتجزأ أو تتحلل إلى مركبات بسيطة دائمة كأن يتحول النشاء إلى سكريات بسيطة ، و البروتينات إلى أحماض أمينية ، وذلك لكي يسهل نقلها إلى مراكز التحرير أو الاستهلاك حيث تستهلك بصورتها البسيطة التى نقلت عليها ( كأن يستخدم السكر فى التنفس أو بناء أعضاء جديدة ) أو تخزن إما على صورتها البسيطة التى نقلت عليها كما فى حالة تخزين سكر الجلوكوز فى ثمار العنب ، أو تتكاثف تكاثفاً بسيطاً كأن يتكاثف جزئياً من سكر الجلوكوز و جزئياً من سكر الفركتوز ليكونا جزئياً من السكر و يخزن على هذه الصورة كما فى حالة جذور البنجر وسيقان قصب السكر ، أو تتكاثف هذه المواد البسيطة المنقولة تكاثفاً كبيراً لتعود إلى الصورة التى كانت عليها قبل تحللها

وانتفاها فيتكاثف الجلو كوز إلى الفئام ، ويحترق على هذه الصورة في السوق الدرقية للمطاطس والخنجر الدرقية للبطاطا وتكاثف الأحماض الأمينية لتعطى جزئى البروتين المتقدم في البذور مثلاً . وعلى من الذكر أن عمليات التحلل والتكاثف التي سبق الإشارة إليها إنما تحدث بواسطة أنزيماتها الخاصة

وقبل عام (١٩٢٠) كان الرأي المتفق عليه أن الخشب هو طريق المصارة الصناعية وأن اللحاء هو طريق المصارة النازلة . وفي عام (١٩٢٠) أوجد Curtis نظريته القائلة بأن اللحاء هو الطريق الذي تسلكه المواد الذائبة في صعودها وفي نزولها . إلا أنه في عام (١٩٢٢) نادى Dixon وآخرون بعدم صلاحية اللحاء تماماً لهذا الغرض وأن الخشب هو الطريق الرئيسي للمصارة الصناعية والنازلة .

يتضح إذن من هذه الآراء المتضاربة أنه لا بد من عمل دراست إضافية هذا الموضوع حتى يمكن القطع برأى فيه ومن أحدث الأبحاث التي عملت في هذا الصدد هي أبحاث Munch (١٩٢٦) ، Crafts (١٩٣١) ، Mason & Maskell (١٩٢٦ - ١٩٢٤) التي أظهرت أن المواد الذائبة العسوية تتحرك في الاتجاهين خلال اللحاء وأن الأملح المعدنية تتحرك إلى أعلى خلال أوعية الخشب .

ونعتمد الأبحاث التي قام بها Mason & Maskell (١٩٢٨ - ١٩٢٤) ، Mason & Phillips (١٩٢٣ - ١٩٣٦) من أحسن الأبحاث التي عملت في هذا الصدد فيما يختص باتعمال المواد الكربوهيدراتية والأروتية والمعدنية بين خلايا وأسجة النبات .

### انتقال المواد الكربوهيدراتية :

قام Mason & Maskell بتحليل أسجة الأعضاء المختلفة لنبات العنبر لتقدير الكربوهيدرات بأنواعها . وأظهرت نتائج التحليل أن السكر لا يوجد في خلايا نص الأوراق وأن ما تحتويه هذه الخلايا من المواد الكربوهيدراتية إنما يوجد على حالة سكريات مختزنة نتيجة لعملية التمثيل الكربوني ، بينما يحتوي الأنابيب الغربالية

في صروق الأوراق على نسبة مرتفعة من السكروز وسنة ضئيلة من السكريات المختزلة وقد عزي وجود السكروز في الأنابيب الغربالية إلى تحول السكريات المختزلة إلى السكروز في الخلايا المرافقة حيث يرداد تركيزه ثم ينساب منها إلى الأنابيب الغربالية. ويبدو أن السكروز هو المادة الكربوهيدراتية الأساسية القابلة للانتقال بين خلايا وأسجة النبات لأنه يتغير تركيزه باستمرار في الخلايا ، وأنه ينتقل من الورقة إلى الساق ومنه إلى الجذر خلال اللحاء . وعندما أزيلت الأوراق العليا من الساق وتركزت الأوراق السفلى فإن السكروز انتقل من أجزاء الساق المودقة إلى أعلى الساق في الأجزاء التي لا تحتوى على الأوراق وهذا يثبت أن السكروز يتحرك إلى أسفل وإلى أعلى خلال اللحاء .

وعندما أجريت عملية التحليق Ringing في الساق دُن أزيلت جميع الأسجة التي خارج اسطوانة الخشب بارتفاع ٢ سم ، سبب ذلك زيادة تركيز السكروز فوق الحلقة راحقاً جميع أنواع السكريات أسلفها ، مما يثبت أن السكروز لا ينتقل إلا عن طريق اللحاء وإن إزالته عند التحليق لم ينفذ السكروز خلال أوعية الخشب . ومن الحقائق المعروفة أن الخشب يحتوي على نسبة من السكريات الدائمة بما دعى إلى الفلز فيما معنى أن السكر ينتقل من الأوراق مباشرة إلى أوعية الخشب . إلا أن الأبحاث الحديثة أظهرت بصمة قاطعة أن هذه السكريات تنتقل من اللحاء في اتجاه عرَضِي إلى الخشب .

ويتلقى الساق والجذر أمدادات كبيرة من السكر تفوق كثيراً احتياجاتها ولذلك فإن أكثر هذا السكر يحزن في هذه الأعضاء وعندما تتكون البراعم الزهرية والورقات فإن هذا السكر ينتشر خلال اللحاء ويقابل تيار السكر المرسى من الأوراق وينجس جميع السكر إلى هذه الأعضاء المتكونة حديثاً لإمدادها بما يلزمها من هذه المواد الغذائية ، وفي نفس الوقت يتمتع وصول السكر إلى الجذور من هذه الامدادات السكرية فينبغ نموها تدريجياً

انتقال المواد الغذائية ونيز :

أوضحت نتائج الأبحاث التي قام بها Mason & Maskell أن انتقال وحركة المواد

الأزوتية أكثر تعقيداً منها في حالة المواد السكر وايدراتية . فقد وجد أن المواد الأزوتية القابلة للانتقال هي الأحماض الأمينية والبيتيدات . أما الأسباراجين فهو غير قابل للحركة . وقد دل تحليل الأوراق على حثائها على نسبة عالية من الأحماض الأمينية والبيتيدات وعلى نسبة ضئيلة من الأسباراجين وكلما ابتعدنا عن الورقة قل تركيز الأحماض الأمينية والبيتيدات وزاد تركيز الأسباراجين .

وقد أوضح هذا العالم أن الأحماض الأمينية والبيتيدات تنقل من الأوراق إلى الساق ومنها إلى الجذر تماماً كما في حالة انتقال السكريز . إلا أن حركة انتقالها لا تبدو واضحة نظراً إلى تخزين ما يريد عن حاجة هذه الأعضاء من هذه المواد على صورة أسباراجين في خلايا القشرة والأشعة النخاعية ويكون صريحاً بدرجة كبيرة في الجذور ولكن عند إجراء عملية التحليل فإن الانتقال يسهل أكثر وصوحاً حيث تتركز المواد الأزوتية المتقلة فوق منطقة التحليل .

وقد أوضح Mason & Phillips (١٩٣٤) أنه عندما تتكون الأزهار والوروات فإن المركبات الأزوتية المهيمنة تسحب بسرعة من الأجزاء الخضرية من النبات ويكون انسحابها من الأجزاء السفلى من النبات بمعدل أكثر منه من الأجزاء العليا . وتسلك المركبات لأزوتية التي تنقل إلى الأزهار والوروات نفس الطريق الذي يسلكه السكريز . ومن الملاحظ أنه عندما يمنع وصول المواد الأزوتية إلى الجذر أثناء النمو الخضري نتيجة لنقص المركبات الأزوتية التي يمتصها الجذر من التربة فإن الأسباراجين الذي يكون مخزوناً في الجذور لا يسحب إلى مناطق النمو الطرفية في الساق لتعويض النقص الأزوتي الناتج من نقص تغذية النبات بالمركبات الأزوتية . ولكن عند ظهور الأزهار والوروات فإن هذا الأسباراجين سرعان ما يتحلل وينقل إليها .

#### انتقال العناصر الخضرية :

يحتاج نبات القطن إلى عناصر الأزوت والفوسفور والبوتاسيوم في الفترة الأولى من نموه . فإذا نقصت عنه هذه العناصر بعد ذلك فإن نموه لا يكاد يتأثر . أما

الكالسيوم فإنه يحتاج إلى امدادات منه طول فترة نموه ، ولا بد من توفره لكي يستمر في النمو .

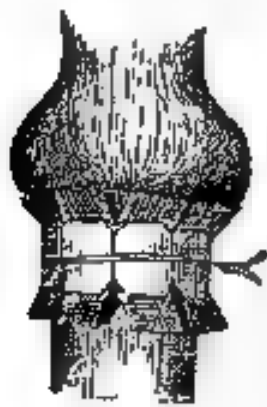
وقد أوضحت التجارب أن العناصر الثلاثة الأولى تنتقل إلى أعلى خلال أوعية الخشب حيث تصل إلى الأوراق ويعود بعضها إلى أسفل عن طريق اللحاء ، إلا أن هذه العناصر يمكن إعادة معادنها إلى أعلى عن طريق اللحاء كما في حالة السكريات والمواد لأرونية العضوية .

أما فيما يخص بالكالسيوم فإنه يشهد عن هذه النفاذة لأنه يبدو أنه يتوزع أثناء حركته إلى أعلى في أوعية الخشب وعندما يصل إلى الخلية فإنه لا ينتقل منها ثانية . وشاهد كثيراً وجود بلورات من أكسالات الكالسيوم في خلايا أشعة اللحاء ولكن ليس هناك أى دليل على وجودها في الأنايب الغربالية .

وعند إزالة اللوات يلاحظ زيادة محتوى النبات من العناصر والسكريات والمركبات لأرونية العضوية في الساق .

#### تكوين الكالوس Callus formation

عند إجراء عملية التحليق في تجارب لا تمال أو عند استعمال الضغط الشديد على



الساق بدلاً من التحليق (شكل ٤٨) يلاحظ حدوث انتفاخ فوق منطقة التحليق أو الضغط ، هذا الانتفاخ يحدث نتيجة لاحتجاز وتراكم للمواد الغذائية التي تكونت في الأوراق وانتقلت منها إلى الأنايب الغربالية في الاتجاه السفلي .

(١) (شكل ٤٨) (ب)

الضغط لتنشيط تكون الأورار تكوين الكالوس (١) بالتصغير (ب) بالضغط

والثمار لأنه عند الضغط تحجر المواد الغذائية النازلة إلى أسفل أجزاء النبات وتوفر للأجزاء العليا فينشط تكوين الأورار ويسرع نضج الثمار .

## الباب الحادى عشر

### انبات البذور

#### Germination of Seeds



إذا نمت جميع العوامل اللازمة للإنبات من ماء ودرجة حرارة وأكسجين فإن جنين البذرة يبدأ فى الإنبات فيتكون الجذير الذى يخترق القشرة ويأخذ طريقه إلى أسفل مخترقاً حبيبات التربة ويمتد ذلك خروج الريشة مخترقة عطاء التربة لتظهر فوق سطح الأرض . من الجذير يتكون المجموع الجذرى ومن الريشة يتكون المجموع الخضرى

إلا أن هناك بعض أنواع من البذور لا يمكن لإنباتها أن تتوفر الشروط اللازمة للإنبات من ماء ودرجة حرارة وأكسجين . مدور النباتات المتطفلة كمدور الطالوك *Orobancha* والحامول *Cuscuta* والعدار *Siriga* لا تنبت إلا إذا وجد مجوارها العائل وأكثر من ذلك أن بعضها لا ينبت إلا بعد أن تنبت بدور العائل وتتلح النباتات درجة خاصة من النمو عندها تبدأ بنور هذه النباتات المتطفلة فى الإنبات . ويبدو أن العائل أثناء نموه يبرز فى التربة بواسطة مجوحيه الجذرى بعض المواد التى تنبه بنور النباتات المتطفلة فتنبت وتصيب العائل وتتطفل على جذره ( كما فى حالة الطالوك ) لمو على سواقه ( كما فى حالة الحامول )

#### العوامل المؤثرة من نجاح الإنبات :

##### ١- الماء :

تحتوى البذور الجافة هوائياً على نسبة من الماء تتراوح بين ١٠ - ١٢ ٪ ولا بد أن تتوفر كمية مناسبة من الماء حتى يمكن إنباتها . وتتميز البذور المدهسة



جميع أجراء منطحتها وليس من النقيض فقط كما قد يعتقد البعض بدليل أنه عند نقطة النقيض بالشمع المنصهر فإن الندرة تمتص الماء ويرداد حجمها .

وتمتص البنود كميات كبيرة من الماء . ويختلف كمية الماء الممتصة باختلاف نوع أو صنف النبات . فمثلاً تمتص بدور النباتات البقولية من الماء أكثر مما تمتصه الحبوب .

ويرجع امتصاص البنود للماء إلى تشرب الفرويات المتصلية Hydrogets التي تتكون منها أجسام الجنين بالماء والتي عندما تمتص الماء يتحول بروتوبلازم الجنين إلى نوع من الفرويات السائلة Hydrosots وتكبر الخلايا وتتكون بها العجوات التي تتكون فيها مواد دائبة كالكسكريات والأملاح وهذه المواد تزيد من قيمة الضغط الأزموزي للعجوة الخلوية وتمتص الخلايا الماء بقوة الامتصاص علاوة على امتصاصه بقوة التشرب .

وتتسلك البدور في امتصاصها للماء مسلك الفرويات المتصلية Oels تماماً كالغرم والجيلاتين والنشاء والشمع . فإذا أخذ حجراً من الماء والفروى المتصلب ومزجناه فإن حجم الخليط الناتج يقل عن حجمهما معاً ، وكذلك الحال في البنود فإن الزيادة في حجم البدور نتيجة لتشربها بالماء تقل عن حجم الماء الممتص . ولإظهار هذه الخاصية توضع بعد البدور المجروش أو النشاء في زجاجة وتتملأ بالماء ويسد سدادة من المطاط تخففه أنبوبة زجاجية بحيث يرتفع الماء في هذه الأنبوبة وتوضع علامة على مستوى الماء فيها ، وترتك بعض الوقت فيلاحظ أن مستوى الماء في الأنبوبة قد انخفض عن المستوى الأول . على أنه ليس من السهل تفسير هذه الظاهرة .

وثمة ظاهرة أخرى تصحب عملية التشرب بالماء فإن درجة حرارة المادة المتشربة بالماء ترتفع عن درجة الحرارة العادية . ويمكن إثبات هذه الظاهرة أيضاً عند مزج بعض الحبوب أو النشاء بالماء فإنه يلاحظ انبعاث قدر من الحرارة عند حدوث التشرب .

## ٢ — الحرارة :

تؤثر الحرارة في سرعة امتصاص البذور للماء ولكنها لا تؤثر في كمية الماء الممتصة . فمثلا عند وضع مجموعتين من البذور المتجانسة في الماء على درجتين مختلفتين من الحرارة فإن البذور الموضوعة في الماء الأكثر حرارة تمتص الماء أسرع من الموضوعة في ماء منخفض الحرارة . ولكن إذا توكلنا مدة كافية فإن كمية الماء الممتصة بهائما تكون واحدة . وقد وجد أن المعامل الحراري لعملية امتصاص البذور للماء يكون قريباً جداً من الرقم ٢ الذي يساوي في قيمته المعامل الحراري للتفاعلات الكيميائية . ويبدو أنه أثناء الانبات تحدث بعض التغيرات الكيميائية في المحتويات العروية للبذرة تنشطها الحرارة علاوة على ما للحرارة من تأثير على تقليل درجة لزوجة الماء فتزداد درجة تقاذه إلى البذر كما يساعد رفع درجة الحرارة على تقليل مقاومة اختراق الجدير للقشرة .

وبعد هو جدير بالملاحظة أن لكل نوع من البذور درجة حرارة صفوى إذا انخفضت عنها فإنها لا تنبت ، كما أن لها درجة حرارة قصوى لا تنبت البذور إذا تعدتها لموت البروتوبلازم فوق هذه الدرجة . وبين هاتين الدرجتين توجد درجة الحرارة المثلى والتي عندها يبيع الابات والنمو أقصاه . وللبدة التي تعرض لها البذور بدرجات الحرارة العالية تأثير كبير على الانبات . فقد أوضح P F Blackman أن تعرض البذور أثناء انباتها لدرجة عالية من الحرارة قد يسرع في عملية الابات ولكن النور الثابتة سرعان ما يموت من تأثير الحرارة العالية . وعلى ذلك فممكن تعريف درجة الحرارة المثلى بأنها أعلا درجة من حرارة عندها يحدث الابات بدون الاضرار بالمادرات مع مرور الوقت .

## ٣ — الضوء :

البذور حساسية شديدة للضوء عند انباتها . وتنقسم البذور من هذه الناحية إلى ثلاثة أقسام —

القسم الأول . وتسمى بذور هذا القسم « بالبدور الحساسة للضوء » و - Light sensitive seeds « وتتميز بذور هذا القسم بعدم قدرتها على الإنبات إلا بعد تعرضها للضوء ولو لفترة قصيرة . ومن أمثلتها بذور شجرة عيد الميلاد Mist etoe وبعض أفراد العائلة Crassulaceae وغيرها .

القسم الثاني . وتسمى بذور هذا القسم « بالبدور الحساسة للظلام » و - Dark sensitive seeds « ويلزم إنبات بذور هذا القسم ألا تعرض للضوء أثناء إنباتها ومن أمثلتها بعض أفراد عائلة حرف الديك Amaranaceae والخمسة السوداء Nigella sativa وبعض أنواع جنس البصل Allium .

القسم الثالث . ليس للضوء أو الظلام تأثير على إنبات بذور هذا القسم فهي تنبت فيهما على السواء . فمثلا بذور البسبح تنبت بشجاح عند تعرضها للضوء أو للظلام على حد سواء إلا أن الضوء يساعد على سرعة إنباتها

ويبدو أن الحرارة تأثير مفرد على حساسية البدور للضوء والظلام ويمكن القول بأنه في حدود درجات الحرارة المناسبة للإنبات تساعد درجات الحرارة العالية على إنبات البدور الحساسة للضوء في الظلام كما تساعد درجات الحرارة المنخفضة على إنبات البدور الحساسة للظلام في الضوء والجدول التالي (ماخوذ عن Series ١٩٣٦) [ يبين هذه العلاقة .

الدرجة المثوية للإنبات		درجة الحرارة	طبيعة البدور
في الضوء	في الظلام		
٧٨,٥	٧,٥	٢٠°م	حساسة للضوء
٦٧,٥	٥٣,٥	٣١°م	
١,٥	٧٤,٥	٢١°م	حساسة للظلام
٨١,٥	٩١,٥	١٠,٥°م	

ويتأثر إنبات البذور الحساسة للضوء والظلام ببعض المواد الغذائية التي توجد في بيئة الإنبات . فمثلاً إذا عوملت البذور الحساسة للضوء بالانزيمات البروتينية أو أصيف إليها محلول غذائي يحتوي على النترات أو الأحماض المخمضة جداً (  $\frac{m}{200}$  إلى  $\frac{m}{1000}$  ) فإن ذلك يساعد على الإنبات في الظلام ويظهر أن للضوء والمواد الغذائية تأثيرات إضافية على الإنبات . والجدول الآتي بين تأثير المحاليل الغذائية و محلول توب ، على إنبات بذور *Ranunculus scleratus* عفا رته بالماء المقطر .

المحلول الغذائي	حالة الإضاءة	النسبة المئوية للإنبات
ماء مقطر	الظلام	٠,٧
د د	ضوء النهار	٢٨,٠
محلول توب Kropotkin	الظلام	٥٥,٠
د د د	ضوء النهار	٨٦,٠

وقد وضعت عدة نظريات لتوضيح تأثير الضوء على إنبات البذور الحساسة للضوء ولكن اتضح أن هذه النظريات لا تنطبق على جميع الحالات ، وأن للضوء تأثيرات مختلفة في الحالات المختلفة . فمثلاً عند إنبات البذور الحساسة للضوء عند تعريضها لفترة قصيرة فإن ذلك يسبب إطلاق بعض التفاعلات اللازمة لنجاح الإنبات ويرى Crocker & Davis ( ١٩١٤ ) أنه في الحالات التي يكون لاستعمال الأحماض المخمضة نفس تأثير الضوء أن كلا من الضوء والأحماض يغيران من طبيعة فصرة البذور فتجعلها أكثر قهادية . ولإنبات ذلك أنه عند إزالة فترات بذور النباتات الحساسة للضوء أمكن إنباتها في الظلام .

#### ٤ — تركيز الأكسجين حول البذور .

تحتاج البذور إلى نسبة خاصة من الأكسجين لنجاح الإنبات فإذا قلت هذه

النسبة أو انعدم الأكسجين فإن البذور لا تنبت . وليدور النباتات المائية القنبره من الإنبات تحت سطح الماء لأنها تكون مادة دهنية الحجم بحيث تجد كمياتها من الأكسجين القليل الذائب في الماء إلا أنه إذا زيد تركيز الأكسجين في الماء فإن نسبة نباتها تزداد .

بعض بذور النباتات المائية لا تنبت في الماء المقطر حتى عند اداة الأكسجين في هذا الماء مثل بذور نباتات *Potamogeton, Alsina, Sagittaria* . إلا أنه يمكن مثل هذه البذور أن تنبت في الماء إذا أضيف إليه بعض أنواع خاصة من البكتريا ولمنع أن هذه البكتريا تسبب حموضة أو قلوية يفتتها بما تفرزه من إفرازات تسبب انبات هذه البذور . وقد أثبتت التجارب أنه عند استعمال الأحماض والقلويات بتراكيز منخفضة أمكن لهذه البذور أن تنبت في الماء المقطر .

#### ٥ - الحالة التي حسبها البذور :

لوحظ أنه في بعض البذور - رغم توفر جميع الشروط اللازمة لإنباتها - أنها تعجز عن الإنبات وظل « كامنة » Dormant و يطلق على مثل هذه الحالة « الكون » Dormancy وتظل البذور على هذه الحالة من الكون فترة من الزمن تختلف حسب حالة البذور .

ويمعزى كون البذور إلى سببين :

الأول : أن يكون الجنين غير كامل التكوين كما في حالة بعض أفراد جنس « الشقيقين » *Ranunculus* ولا بد لكي تنبت هذه البذور شجاع أن تمضي فترة من الوقت تسمى بفترة « بعد النضج » بعد انفصالها من نباتاتها حتى يكمل تكوين الجنين الناقص ويستعد للإنبات في الموسم التالي أو يكون الجنين كامس الأعضاء ولكن ينقصه حدوث بعض التحولات في عدااته المتأخر حتى تصبح مستعدة لعمليات التحول الغذائي عند الإنبات . ويستمرق إتمام هذه التحولات بعض الوقت تنشط فيه الإنزيمات لتقوم به التحول المطلوب . ويمكن تقصير هذه الفترة بتنشيط عمل هذه الإنزيمات بأن ترفع درجة حرارة هذه البذور إلى الدرجة المناسبة لتنشيطها أو بمعاملة الأجنة ببعض الأحماض المصححة التي توفر الدرجة المناسبة من الحموضة لعمل الإنزيمات .

الثاني : أن تكون قصرات هذه البذور الكاملة من الصلابة بحيث لا تسمح لها أو العازات بالنفاذ منها بسهولة كما في بعض نباتات العائلة البقولية *Leguminosae* والفسفوية *Labiales* والخيارية *Melastomaceae* ولا يبرح إنبات مثل هذه البذور إلا بتعجب معاملتها بإحدى الطرق الآتية حتى يسهل وصول الماء والأكسجين إلى أجسام الجنين :

- ١ - إما بإزالة كل القشرة أو بعضها إزالة ميكانيكية فتقصر المدة اللازمة للإنبات .
- ٢ - معاملة البذور بمعاملة خاصة بأحد الأحماض التي من شأنها أن تذيب القشرة أو تفككها بدون الإضرار بحيوية الجنين - ويستعمل لذلك حمض الكبريتيك بتركيزات خاصة ولمدة معلومة تختلف باختلاف نوع البذور ودرجة حماسيتها ، أو تعامل البذور بالحرارة أو البرودة أو ببعض العازات الخاصة - فقد وجد أن عمر البذور ذات القشرات الصلبة في ماء بثلث لمدة ٣٠ - ٦٠ ثانية ، بعد تقعب في الماء البارد لمدة ١٢ ساعة يساعد كثيراً على سرعة إنباتها . وقد وجد أن تخمير البذور ذات القشرات الجافة في درجة عالية من الرطوبة يساعد على إنباتها ، إلا أن ذلك ينقل من حيويتها .

### لتغيرات الكيمياء والحيوية التي تحدث عند إنبات البذور :

تتغير البذور الغذاء في أجزائها المختلفة على صورة مواد غذائية معقدة من المواد الكربوهيدراتية والدهنية والأرونية . وعند إنبات تتحلل هذه المواد المعقدة إلى مركبات غذائية بسيطة ذائبة وتنتقل هذه المواد إلى مناطق النمو حيث تكون الحاجة إليها شديدة لتكوين الخلايا والأنسجة الجديدة ولتنتج كذلك الطاقة التي يستعملها النبات في مراقته الحيوية كما سبق أن ذكرنا في التنفس .

في البذور الدهنية - كاللوز والقمح مثلاً - يتحلل النشاء إلى سكر الجلوكوز بواسطة أنزيم الأميليز ، ومن سكر الجلوكوز يتكون الفركتوز والسكريز ويتحلل بعض هذا السكر الناتج إلى ثاني أكسيد الكربون والماء أثناء عملية التنفس ، أما الباقى فيستعمل في بناء الجدر الخلوية وتكوين البروتوبلازم في الخلايا والأنسجة

الجديدة ، ويحتوى بدور الملح أغلب غدها المدخر على هيئة هيميسيليلوز Hemicellulose وعند الإنبات يعمل أنزيم السايترز Cytase على تحليله إلى السكريات الذائبة التي تستعمل في بناء الخلايا والأعضاء الجديدة تماما كما يحدث عند أنبات بذور الخردل والذئبق .

أما البذور الزيتية - كبدور القرمس - فإنه عند إنباتها يتحلل البروتين بواسطة الأنزيمات الروتوسينية إلى مركبات أذوتية ذائبة أهمها الأحماض الأمينية والأميدات ، ثم تنقل هذه المركبات الأذوتية الذائبة إلى مناطق النمو والنشاط حيث يصاد بناؤها لتكوين البروتينات والبرومولارم في الخلايا الجديدة . وإذالم تتوفر المادة الكربوهيدراتية للتنفس فإن بعض الأحماض الأمينية تفرع من المجموعة الأمينية وتؤكسد إلى نأى أكسيد الكربون والماء أثناء التنفس .

وفي حالة البذور الزيتية - كبذور الخروع مثلا - فإن لدن يتحلل بواسطة أنزيم اللايسر Lipase إلى الجليسرين والأحماض الدهنية . أما السكريات فإنها تبدأ في الظهور ويتزايد تركيزها في خلايا البادرة أثناء تحلل هذه المركبات الدهنية . والمعتقد أن الجليسرين ونقص الأحماض الدهنية تتحول إلى سكريات أثناء الإنبات ، وما يعبر هذا الرأي تلك النتائج التي حصل عليها Stiles and Leach (١٩٣٣) أثناء دراستهم لمعامل الشمس أثناء إنبات هذه البذور . فقد لاحظوا أنه في أول الإنبات كان معامل التنفس ( م . ب ) مساويا للوحدة وبعد ٧ ساعات من بدء الإنبات أصبح ٠.٨ . وأخذ ( م . ت ) بعد ذلك في الانخفاض حتى أصبح ٠.٢ بعد ١٢٠ ساعة من بدء الإنبات وأعقب ذلك ارتفاع آخر . وقد فسرت هذه التجارب على الوجه الآتي

تحتوى بدور الخروع على حوالي ٢ ٪ مادة كربوهيدراتية ٦ ٪ حولى ٥٠ ٪ مادة دهنية كمعداء مدخر وعلى ذلك فإنه عند إنبات البذور استهلك الكربوهيدرات أولا في التنفس وهذا هو السبب في أن ( م . ت ) كان مساويا للوحدة . وبعد مضي ٧ ساعات وعندما أخذ تركيز الكربوهيدرات في القلة استعمل النبات في تنفسه بعض المادة الكربوهيدراتية والدهنية وانخفض ( م . ت ) إلى ٠.٨ تقريبا . وعندما

استهلاك السكر تماماً فإن النبات استعمل المواد الدهنية فقط في تنمته وبلغ ( م ت )  
تبعاً لذلك . بعد ذلك استعمل جانب من الغذاء الدهني لتكوين السكريات . وحيث  
أن هذا التحول يقتضي استعمال بعض الأكسجين بدون خروج ما يعادله من ثاني  
أكسيد الكربون فإن معامل التنفس انخفض بدرجة كبيرة وأصبح ٠.٥ . وهي أقل  
كثيراً من معامل التنفس للمواد الدهنية .

وللمن في بدور الخروج هو ثلاثي جلسريد الخامس الريسينويك Triglyceride  
of ricinolic acid (ك. ١٠٤ مد ١٠٤) وعند أكسده هذا المركب أكسدة تامة أثناء  
عملية التنفس فإننا نحصل على .



$$\therefore \text{معامل التنفس} = \frac{114}{157} = \frac{1}{1.37} = 0.73$$

أما إذا تحول هذا المركب الدهني إلى سكرات فإننا نحصل على .



فإذا استعمل النبات جزيئين من لهن في تنمته مقابل تحويل جزيئين آخرين

$$\text{منه إلى مواد سكرية فإننا نحصل على معامل تنفس مساوياً } 0.57 = \frac{114}{43 + 157}$$

وهي تقارب قيمة معامل التنفس في بدور الخروج في المرحلة الأخيرة .

#### فترة هبوز البذور Life span of seeds

لبذور النباتات القدرة على تحمل الظروف غير الملائمة محتملة بحيويتها مدة من  
الزمن تختلف باختلاف نوع البذور . ولكن إذا وضعت مدة طويلة في هذه الظروف  
فإنها تفقد حيويتها تدريجياً وينتهي الأمر بموتها . مثلاً إذا لم تصادف بذور الصنوبر  
Saw في رطوبة لإنباتها بعد انتشارها مباشرة من ثمرتها فإنها تتعرض للهواء الجاف  
تفقد حيويتها وتموت . بينما تحتفظ بذور الحور Populus بحيويتها عدة أسابيع . أما  
بذور البقوليات لفترة حيويتها طويلة و تقدر بأكثر من ١٥ سنة . وللبذور البقوليات  
قصرات مصكبة غير منعقدة للباء . وربما لا تنفذ الممرات . وعلى العموم فإن حيوية  
البذور تأخذ في القلة معضي الزمن عند حفظها في الهواء الجاف .



## الباب الثاني عشر

### النمو Growth



النمو هو الزيادة في الوزن الجاف للنبات أو العضو النباتي . وقد تكون هذه الزيادة مصحوبة بزيادة في الحجم . فإذا وضعت قطعة من الخشب في الماء فإنها تزداد في الحجم والوزن الرطب إلا أن هذه الزيادة تقف بعد مدة معينة فلا تعتبر الزيادة هنا دليلاً على النمو إذ أن ورنها الجاف لم يزد ، وإذا ضربنا صفحاً من التغير الكيماوي الذي ينشأ من نفع البدور في ماء في الفترة الأولى أثناء الإنبات فإن الزيادة الناشئة في حجم ووزن البدور نتيجة لامتصاصها الماء لا تعتبر نمواً .

ويحدث عند إنبات البدور أن يزيد حجم البادرة بضع مرات عن حجم البذرة الأصلية ولكن عند تقدير مادة الجفاف ملاحظ أنها في البادرة أقل منها في البذرة الأصلية . ذلك أن البذرة عند إنباتها تمتص قدراً كبيراً من الماء ثم يبدأ النمو في محتوياتها من الغذاء المخسر فيتحلل النشاء إلى سكريات ، والمواد البروتينية إلى مواد عضوية سهلة التحويل . ومن هذه المواد البسيطة يكون النبات أعضاءه الجديدة ويستهلك جاباً من هذه المواد في عمليات التنفس والتحول الغذائي ولذلك ينخفض الوزن الجاف للبادرة إلى أن تتمكن من تكوير مجموع جذري فتتص من التربة الماء والأملاح ويتكون لها المجموع الخصري وبدأ عمليات البناء . وعندما يزيد معدل البناء على ما يستهلك من المواد الغذائية في عملية الهدم فإن الوزن الجاف للنبات يبدأ في الزيادة .

ولكل نبات ما يسمى بدورة الحياة وهذه تختلف باختلاف نوع النباتات وتركيبها ففي النباتات وحيدة الخلية كالبيكتريا أو الفطر بدأ دوره الحياة بخلية ناتجة من عملية الانقسام البسيط ثم تأخذ هذه الخلية في الزيادة والنمو إلى أن تهيأ للانقسام وهذا

تكون قد أتمت دورة حياتها في مدة قصيرة ، وقد قدرت المدة اللازمة لنمو خلية بطر الخيرة واستعدادها للانقسام بساعة واحدة ، وقد ما ينتج من خلية واحدة من خلايا بطر الخيرة في مدة ٢٤ ساعة إذا توافرت لها جميع الشروط اللازمة بمليون ونصف مليون خلية فطرية .

أما في النباتات المحصره الرقية فإن الأمر يختلف عن ذلك اختلافاً كبيراً ، فبدأ دورة الحياة باكتال تتكون الجنين بالبذور . وعندما تتكون البذور فإنه يلزمها فترة من الزمن تسمى فترة السكون ، تستمد أثناءها البذرة ليتم تكوينها فإذا ما توفرت لها الظروف المناسبة للإنبات فإنها تنبت إلى بادرة ويكون النمو هنا على حساب ما كان مخزناً من مواد غذائية داخل أجزاء الجنين أو خارجها كما أوضحنا إلى أن تحصل الزيادة في الوزن الجاف ، وتعتبر البادرة نباتاً كاملاً إلا أنه حال من الزهرة . ثم تأخذ البادرة في النمو فيتكون المجموع الجذري للنبات والمجموع الخضري بأوراقه وأفرعه . وبهذا تتم مرحلة النمو الخضري في النبات . ويعقب ذلك مرحلة الإزهار والإثمار . وعندما تتفتح الزهرة وتخصب البويضات يبدأ تكوير البذور والثمار وعندها تنتهي دورة حياة النبات الرقيق .

ونمو الخلية سرء كانت الخلية نباتاً مفرداً أو خلية من خلايا نسيج النبات الرقيق ما هو إلا محصلة عمليات التحول الغذائي ، فإذا كان معدل البناء يفوق معدل الهدم فإن الخلية تزداد في الحجم والوزن معاً ، وقد وجد أن معدل البناء في الخلايا الثاميه يساوى أضعاف ما يستهلك بها أثناء عمليات الهدم

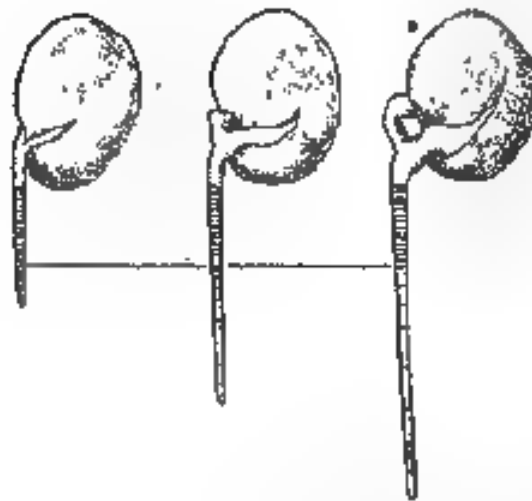
وتتم الخلية أثناء نموها على مراحل متتاليه . في المرحلة المرسئية لا يصحب تكون الخلايا زيادة في حجمها أو وزنها بل يقتصر الأمر على زيادة العدد ثم تلي ذلك مرحلة الريادة في الحجم وهنا تبدأ الخلية في الامتصاص فتنص الماء والأملاح ويكون نتيجة ذلك تكوين الفجوات الصغيرة التي سرعان ما تتجمع وتتحد مكونة فجوة كبيرة تحتل مركز الخلية ويدفع السيتوبلازم فيلتصق بالجدار الخلوي ويطنه و يصحب ذلك زيادة في وزن وحجم الخلية نتيجة لامتصاصها الماء . وعندما تصل

الخلية الى هذه المرحلة من مراحل النمو فإنها تأخذ في التخصص حسب الوظيفة التي ينبغي لها فإذا كانت حلية من خلايا الخشب فإنه يحتلط بمحارها مادة اللجنين وتزول الجدر التي ما بين الخلايا وتخصص بعضها وتكون وعاء الخشب وتصبح خلية ميتة . أما إذا تخصصت لتكون إحدى خلايا البشرة فإنها تأخذ وصفاً متراصاً قائماً بالأصلاع تقريباً وتتغطى بشرتها العليا بمواد شمعية أو كيو تينية وهكذا حسب نوع التخصص. وهنا تكون الزيادة في الوزن راجعة الى ما يضاف الى هذه الخلايا من مواد تزيد من وزنها .

### قياس النمو :

لقياس النمو طرق كثيرة وتتوقف الطريقة التي تستعمل لقياس النمو على نوع العضو الذي وطبيعة نموه وفيما يلي الطرق الأكثر شيوعاً في قياسه

١ — قياس النمو في أطراف الجذور :



( شكل ٢٩ )  
منطقة النمو في الجذر ( من توماس )

لإظهار متلفة النمو في الجذور والسيقان تتبع طريقة وصنع علامات ثابتة بالحبر الصيني على أطرافها على مسافات متساوية ويلاحظ بين آن وآخر الزيادة التي بين العلامات. وتوضح هذه الطريقة مناطق النمو بالضغط فنلاحظ أنها تقع في الجذر على مسافة صغيرة من طرفه . فإذا قسم طرف الجذر في بادئة الفول إلى أقسام كل قسم مساوي ملليمتر واحد ، وترك

لده يوم أو اثنين بعد رجاحة الجذر بقطعة مبللة من القطن فإننا نلاحظ أن الملليمترات السبعة أو الثمانية الأولى زادت في الطول زيادة واضحة بينما لم ترد الملليمترات الباقية كثيراً ( شكل ٤٩ ) .

## ٢ طريقة الميكروسكوب العادي :

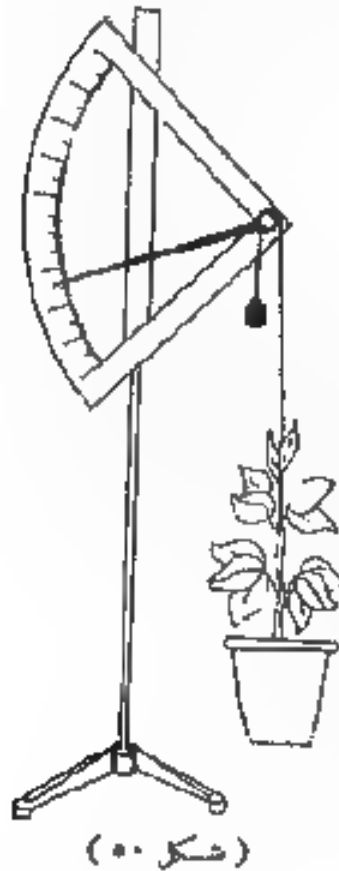
تستعمل هذه الطريقة في قياس نمو خلايا الفطر والبكتريا ووحدة القياس هنا الميكرون . وتستعمل في مثل هذا الميكروسكوب عينية خاصة مدرجة

## ٣ — طريقة الميكروسكوب الآلي :

يختلف هذا الميكروسكوب عن الميكروسكوب العادي في أن له دائماً رأساً وعلى طرفه العلوي أبوية معدنية تشابه أنبوبة الميكروسكوب العادي وله عينية ميكرومترية ، ويتحرك الميكروسكوب في وضع رأسي وأفقى ولقياس النمو في الجذر مثلاً بهذا الميكروسكوب تثبت الباندة في وضع رأسي ونظر في صفة الميكروسكوب ونحرك منوايطه حتى يظهر طرف الجذر في بؤرة الإبصار ثم يترك بعض الزمن ويعد ضغط الميكروسكوب ثم تقدر المسافة التي زادت بها النمة النامية . وعند معرفة قوة تكبير الميكروسكوب يمكن حساب الزيادة التي حدثت في النمو

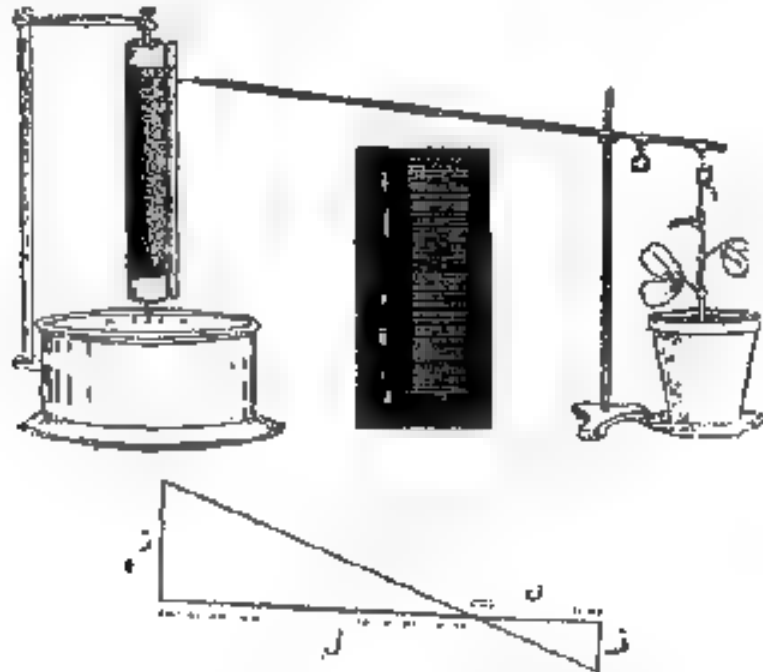
## ٤ طريقة القوس المندرج :

لهذا الجهاز أشكال متعددة أسطفا الموضح في (شكل ٥٠) ويتوكل من حامل رأسي عليه قوس مندرج من الخشب أو المعدن ويتحرك على التدرج مؤشر يتحرك في مركز القوس المندرج ويتصل بالميكرومتر ، ولقياس النمو في القمة النامية للساق مثلاً يحضر بيت نام في أصيص ويربط طرف قمة النامية بخيط غير قابل للاستعالة ويلف الخيط حول الميكرومتر المتصلة بالمؤشر لفه واحدة ويوضع في طرف الخيط الآخر ثقل مناسب ليحفظ الخيط



مشهداً . ثم تؤخذ قراءة المؤشر على القوس المدرج . ويترك الجهاز بعض الوقت فيثبت استقامة طرف الساق الناعمة فإن ذلك يثبت حركة القوس إلى أسفل . ومن قراءة الزاوية الناتجة من تحريك القوس يمكن حساب الزيادة التي حدثت .

وهناك جهاز يسمى بالأوجرانومتر المسجل Self - recording auxanometer (شكل ٥١) . وهذا يستعاض عن القوس بأسطوانة رأسية تغطي طرفها من السناج أو تلف بورقة معطاة بالسناج وتتحرك الأسطوانة بواسطة جهاز ساعة متصل بها من القاعدة ، ويمكن ضبط جهاز الساعة لكي يحرك الأسطوانة حركة أفقية كل ربع أو نصف ساعة أو كل ساعة . وفي نهاية التجربة نحصل على خطوط أفقية متتابعة يمثل العدد بين الخط والخط الزيادة في نمو مكبرة بواسطة الرافعة . ويمكن حساب الزيادة الحقيقية من قياس طول ذراع الرافعة ومعركة المسافة بين كل خطين . فإذا مررنا طول الذراع القصيرة بالرمز  $l$  والذراع الطويلة بالرمز  $L$  وللزيادة



( شكل ٥١ )

الأوجرانومتر المسجل (عن توماس)

$$\frac{u}{v} = \frac{z}{z'} \text{ قياس } z \text{ بالرمز } z' \text{ والريادة المكبرة بالرمز } z'$$

#### ٥ — طريقة البلانيميتير Planimeter

ويستعمل هذا الجهاز لقياس مساحة الأوراق وتقدير الريادة في مساحتها نتيجة نموها بعد فترة معينة من الزمن تحت ظروف من الظروف، والطريقة أن يوضع الورقة النباتية على ورقة بيضاء، وتحدد حافتها برسمها على الورقة ثم تزال ورقة الثبات وتُقاس مساحة الورقة المرسومة بواسطة البلانيميتير.

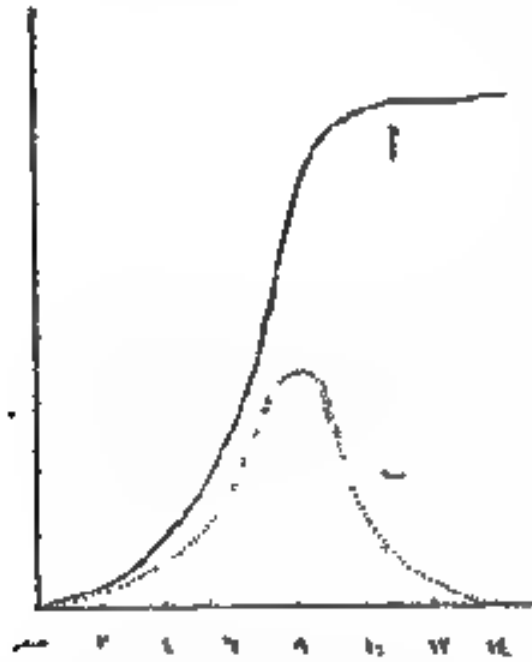
#### ٦ — طريقة تقدير الريادة في الوزن الجاف

لتتبع الريادة في الوزن الجاف لنبات ما لا بد من استعمال طائفة متتالية من هذه النباتات يؤخذ منها على فترات عدد معين ويجمع في الفرن على ١٠٥°م حتى شب. الوزن ثم يقدر الوزن الجاف للعينات المتتالية. وباستعمال طرق الإحصاء يمكن إيجاد معدل الريادة في النباتات المستعملة.

#### فترة النمو الكبرى Grand period of growth

إذا لحصد النمو لأي نبات أو أي عضو نباتي باستعمال أحد الأجهزة السابق ذكرها فإننا نلاحظ أن النمو لا يكون منتظماً بدرجة واحدة طول فترة حياته. فكل نبات وكل عضو وكل حلية تمر على فترات ثلاث أثناء نموها وقد شرح سابقاً مراحل نمو النبات أو العصور النباتية فيما سماه قانون فترة النمو الكبرى. ويكون معدل النمو بطيئاً في الفترة الأولى ويسرع في الفترة الثانية حتى يصل إلى أقصاه ثم يأخذ في الانخفاض في الفترة الثالثة أو يتلاشى نهائياً وعند ذلك يقف النمو. واجتدول الآتي بين مقاومة ومعدل النمو في ساق البسلة :

الزمن	طول الساق بالمليمتر	مقدار النمر بالمليمتر	معدل النمو بالمليمتر ( الوحدة الرمنية يومان )
ساعة الابتداء	٦٥,٢	—	—
بعد يومين	٥٦,٤	١,٢	١,٢
» ٤ أيام	٦٨,٩	٢,٧	٢,٥
» ٦ »	٧٥,٩	١٠,٧	٧,٠
» ٨ »	٨٩,٩	٢٤,٧	١٤,٠
» ١٠ »	٩٤,٩	٢٩,٧	٥,٠
» ١٢ يوما	٩٦,٤	٣١,٢	١,٥



( شكل ٥٢ )

يمثل المنحنى ١ نمو الساق بالمليمتر

» ب معدل النمو بالمليمتر

اليومين الأولين كانت قليلة ثم أحدث الساق في لاستطالة السرعة حتى اليوم العاشر.

والرسم البياني الموضح في

( شكل ٥٢ ) فيه يمثل المنحنى ١

نمو الساق بالمليمتر ويمثل المنحنى

ب معدل النمو بالمليمتر. وبدراسة

المنحنى ب نشاهد أن النمو يبدأ

قليلًا في اليومين الأولين ثم يزداد

بسرعة حتى يبلغ أقصاه في اليوم

الثامن ويبدأ يأخذ في التناقص

التدريجى حتى يتلاشى معدل النمو

تمامًا في اليوم الرابع عشر. أما

المنحنى ١ فيمثل الزيادة اليومية

بالمليمتر في طول الساق أثناء

نموها، ومنه يلاحظ أن الزيادة في

اليومين الأولين كانت قليلة ثم أحدث الساق في

وانتداء من اليوم العاشر لم يحدث أى زيادة تذكر فى الطول حتى نهاية التجربة .

### العوامل التى تؤثر فى النمو :

يحتاج النبات النامى إلى قدر كاف من الماء والأملاح المعدنية ودرجة ملائمة من الحرارة وقدر كاف من الأكسجين . ويعتبر الضوء من أهم العوامل اللازمة للنمو .  
فى حياة بعض النبات تماماً عن تكوين المادة الخضراء وتستطيع الصناعات وتكون سلامياتها طويلة ، وتعمل كثيراً مساحة تصل الأوراق ويضعف تكوين الخشب ، وتصبح السوق رحوه عصارية ضعيفة ويرجع النبات فى هذه الحالة بأنه Etiolated .  
وبالإضافة إلى أهمية الضوء فى تكوين المادة الخضراء فإنه يبدو أن له أثراً مباشراً على عمر الخلايا . وكما سيأتى ذكره ، فإن للضوء تأثيراً على توزيع هرمونات النمو على الخلايا كما أنه يمدد حساسية هذه الخلايا للهرمونات . ولا تنفى أهمية الضوء فى زيادة نقادية البروتوبلازم فتسهل عملية الانتقال لإمداد مناطق النمو بما يلزمها من مواد غذائية .

### طور المدتهار فى النباتات :

يرى Lysenko ( ١٩٢٨ — ١٩٣٧ ) أنه يلزم لسكى تم النباتات الحولية دورة حياتها أن تمر على فترتين مختلفتين عن بعضهما تمام الاحتلاف . وقد سميت الفترة الأولى بالفترة الحرارية . والفترة الثانية بالفترة الضوئية . ويلزم لسكى يمر النبات فى الفترة الضوئية أن يستكمل الفترة الحرارية .

#### ١ — الفترة الحرارية The thermo-stage

من الجائز أن يمر النبات فى هذه الفترة الحرارية دون أن يحدث تغير يذكر فى شكله العام . وبما يصرح هذه الفترة فى النباتات الشتوية إنخفاض درجة الحرارة عن حد أعلى . فإذا رادت لدرجة من هذا الحد الأعلى فإن الفترة الحرارية لا تبدأ فى النبات ويظل النبات عقيماً ولا يمكن للنبات تحت هذه الظروف أن يبدأ الفترة الثانية التى يتم فيها الإزهار إلا إذا استكمل هذه الفترة الأولى . وقد أمكن بعد دراسة عوامل البيئة اللازمة لهذه الفترة الأولى استكمال هذه الفترة فى الضوء أثناء



إنسانها إنساناً طبيعياً قبل بدورها . بعدد بذر هذه البذور المعاملة فإنها تبدأ في الخلل في دحول الفترة الثانية وبدا تقف فترة النمو الخضري فيها إلى أقل مدة ممكنة . وقد سميت هذه المعاملة التي من شأنها أن تقلل فترة النمو الخضري ، بما يؤدي إلى اسراع التزهير في النباتات ، بالارتباع Vernalization

### العوامل التي تؤثر على نجاح الارتباع :

١ — درجة الحرارة : تحتاج النباتات الشتوية كبعض نباتات الحبوب إلى درجة منخفضة من الحرارة نسبياً بينما تحتاج النباتات الصيفية كالقمح والذرة إلى درجات مرتفعة من الحرارة . وعلى العموم فإنه بما يسرع عملية الارتباع أن تكون درجة الحرارة قريبة من الدرجة المثلى . فقد لاحظ Lysenko ( ١٩٣٧ ) أن نبات القمح استكمل فترة الأولى في مدة ٤٠ يوماً عندما استعملت درجة حرارة من صفر — ٢°م بينما احتاجت النباتات إلى ١٢٠ يوماً عندما كانت درجة الحرارة ١٧°م . وعندما رفعت درجة الحرارة عن ذلك أو خفضت عن درجة الصفر فإن عملية الارتباع ووقفت تماماً .

ب — المحتوى المائي للبذور . لا تحدث عملية الارتباع في البذور ما لم يبدأ جنيها في النمو . ويحدث هذا النمو في الجنين دون أن يبدو على المنيرة تغير يذكر . ويمكن تنبيه هذا الجنين الساكن لبدأ نشاطه ونموه بنقع البذور في الماء . ويحدث الارتباع عندما تحتوي البذور على قدر من الماء كاف لهذه الإنبات . ولا يصح أن يقل المحتوى المائي للبذور عن ٥٠ ٪ من وزنه البذور الجافة في الهواء .

الآن أنه ليس من السهل المحافظة على هذه النسبة من الرطوبة في البذور فإنها تأخذ في الفقد أثناء عملية الارتباع غير أنه يمكن التغلب على هذه الصعوبة بإجراء العملية على الباردات أثناء زراعتها ، ولكنها طريقة ليست عملية لأنه ليس من الممكن التحكم في درجة حراره الجو . وقد تمكن Gregory ( ١٩٣٦ ) من إحداث عملية الارتباع في البذور أثناء نضجها وهي متصلة بالنبات الأصلي .

ح - تركيز الأكسجين . ثبت من تجارب Gregory (١٩٣٦) أنه إذا حفظت البذور المعاملة عمود عن الأكسجين فإنه لا تحدث بها عملية الإرتباع رغم توافر الشروط الأخرى من حرارة ورطوبة . وقد وجد Eremenko (١٩٣٥) أنه كلما زاد تركيز الأكسجين حول البذور أسرع عملية الإرتباع .

#### ٧ - الفترة الصوتية The photo - stage

أوضح Lysenko أن الفترة الأولى تحتاج إلى درجة منخفضة من الحرارة في النباتات الشتوية وأنه يلزم لفترة الثانية درجة مرتفعة من الحرارة . وتأثر الفترة الثانية بزيادة ساعات النهار . فتمت زرع بذور القمح المعاملة وغير المعاملة في درجة مرتفعة من الحرارة وعرضت بعضها للإضاءة لمدة ١٠ ساعات والأخرى للإضاءة المستمرة فإن النباتات المعاملة والتي عرست للإضاءة المستمرة هي التي أخرجت السنايل . وفي تجربة أخرى زرعت بذور القمح المعاملة وأضيفت لمدة ٢٠ يوماً إضاءة مستمرة نقلت بعدها إلى إضاءة قدرها ١٠ ساعات في اليوم ف لوحظ أنها أخرجت سنايلها بنفس السرعة التي أخرجت فيها النباتات المعرصة للإضاءة المستمرة سنايلها أثناء نموها الخضري .

أما بالنسبة لنباتات الصيف فإنه يلزمها ساعات إضاءة قليلة رطوبة أخرى مناسبة النهار القصير والمثل الآتي يوضح هذه الظاهرة في نبات فول الصويا ( الصويا ) . زرعت البذور في يوم ٨ مايو وظهرت البادرة فوق سطح الأرض في يوم ١٧ مايو . وفي يوم ٢٠ مايو وضمت مجموعة من البادرات في ٧ ساعات إضاءة يومية وأزهرت نباتات هذه المجموعة في ١ يونيو ، ووصل طول النبات ٨ بوصات . وعندما عرّضت نباتات المجموعة الثانية إلى إضاءة يومية قدرها ١٤ ساعة أزهرت في ٢١ يونيو وبلغ ارتفاعها ٤٥ بوصة . وبعد تعريض مجموعة ثالثة من البادرات إلى فترة إضاءة أطول فإنها استمرت في النمو الخضري ولم تزهر إطلاقاً . وعلى ذلك فإنه يمكن تنظيم الإضاءة اليومية للحصول على نوع خضري جيد مع ازهار مبكر . يتضح مما سبق أن عملية الإرتباع وحدها لا تكفي لكي تثمر النباتات وأنه يلزم للنباتات المعاملة والتي اجتازت الفترة الأولى درجة من الحرارة وفترة ضوئية مناسبة حتى يمكنها أن تثمر .

## الباب الثالث عشر

### الهormونات النباتية

#### Plant Hormones

— — — — —

#### تاريخها وطرق استخراجها :

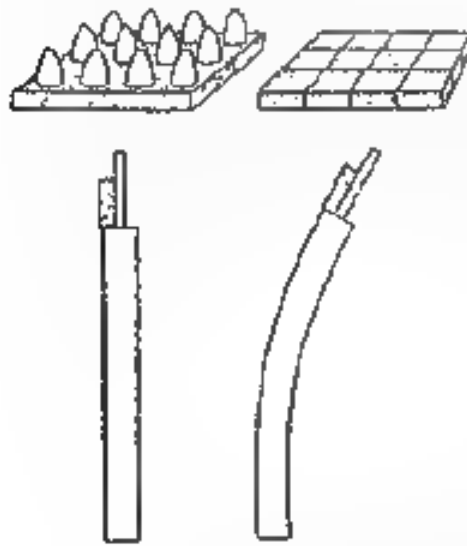
منذ أكثر من ٢٠ عاماً أشير ساكس إلى وجود مادة معينة ، تسبب نشاط خلايا النبات إذا استعملت بكميات ضئيلة جداً. ثم اكتشفت الهرمونات في الخيولان بعد ٢٥ عاماً من ذلك التاريخ وافتضى الأمر ٢٥ عاماً أخرى لكي يحقق النباتيون ما تخيله ساكس وتنبأ به ، وقد سميت هذه الهرمونات النباتية بمواد النمو وسميت كيميائياً بالآوكسينات Auxins

والمقصود بالهرمونات أنها مادة تتركز في عضو ما من أعضاء النبات وتدخل هذه المادة إلى عضو آخر حيث تقوم ببعض العمليات الفسيولوجية .

وبما أثبت وجود هذه الهرمونات النباتية تلك الأبحاث التي قام بها Boysen - Jensen ( ١٩١٠ ) الذي لاحظ أنه عند إزالة العلاف الورقي لإدارات الفوقان سبب ذلك وقف نموها ولم تستطع السويقة ، وعند إعادة وضع القمة الورقية المفصولة أخذت الساق في النمو ثانية . وقد حدث نفس التأثير حتى عند وضع طبقة من الجيلاتين بين القمة الورقية المفصولة وسويقتها .

وفي عام ( ١٩١٤ ) ، ( ١٩١٨ ) حصل Poff على نتائج مشابهة للنتائج السابقة ، وأضاف إلى ذلك أنه عند فصل القمة الورقية ثم إعادة وضعها وضعاً غير مركزي سبب ذلك زيادة نمو السويقة في الجانب الذي وضعت عرقه القمة المفصولة وانحنى الساق نتيجة لإحداث النمو الغير متعادل على جانبي السويقة وذلك لما أفرزته القمة

المفصولة من مادة النمر انتشرت منها إلى الخلايا التي أسفلها فسامت نموها بمعدل أكبر من الخلايا الأخرى في النصف الآخر من السويقة ونتج عن ذلك حدوث الانحناء . وقد استعمل F. W. Went ( ١٩٢٦ ) ، ( ١٩٢٨ ) من نتائج الأبحاث السابقة بما يخص بانتشار مادة النمو من خلايا النبات إلى الجيلاتين أو الآجار ، فقام بمصل عند معين من قمم الأغلفة الورقية ثم وضعها على طبقة رقيقة من الآجار فانشرت مادة النمو من هذه القمم إليها ، وبعد ساعتين أزيلت القمم من فوق طبقة الآجار ثم قسمت إلى أقسام صغيرة متساوية ( شكل ٥٣ ) وعندما وضعت قطعة من هذا



( شكل ٥٣ )

الآجار مكان إحدى القمم المفصولة في إحدى المادرات وضعاً غير مركزي انحنت السويقة انحناءً ظاهراً وكان هذا الانحناء متناسباً مع تركيز مادة النمو في قطعة الآجار . وقد استعملت وحدات مختلفة لتقدير درجة تركيز مادة النمو - فاستعمل Went ما سماه بالوحدة الشوفانية *Avena unit* وتعرف الوحدة الشوفانية هي كمية الأوكسين الموجودة في قطعة من الآجار أبعادها  $2 \times 2 \times 0.5$  مليمتر وتركيز الأجار فيها  $\frac{3}{100}$  التي في درجة  $22^\circ \text{C}$  وفي مدة ساعتين تحدث انحناءً قدره  $10^\circ$  درجات عند وضعها وضعاً غير مركزي على سويقة بادرة الشوفان بعد إزالة خلاصها الورقي .

وهذه الطريقة في جمع مادة النمو من القمم المفصولة تبين ما انتشر منها فقط في طبقة الآجار . إلا أن ذلك لا يعني استحلاص جميع مادة النمو من القمم المفصولة ، فقد يبين بمصفا في القمة مربوطاً بها بطريقة ما بما لا يمكن حسابه في طريقة العدب درجة تركيز الهرمونات بها .

وقد استطاع Thimann (١٩٣٤) طريقة كيميائية لاستخلاص مادة النمو وقلم Boysen Jensen (١٩٣٦) بإدخال بعض التعديلات عليها. وتمنح الطريقتان قتل وطمس المسيج النباتي طمناً تاماً مع إضافة كمية قليلة من الكلوروفورم المحمص بمص الكلوروديك  $C_{10}H_8$  أسامى بحيث تكون نسبة الكلوروفورم إلى حامض الكلوروديك ١٠ : ٥ وتترك حول الليل ثم ترشح ، ويحتوى المرشح على مادة النمو التي يمكن تخليصها من الكلوروفورم وإعادة ادائها في التأثير شرط أن يكون غالياً من فوق الأكسيد كجهد مادة النمر :

قام كثير من الباحثين بدراسة كيمياء مادة النمو ففي عام (١٩٣٢ - ١٩٣٥) تمكن Kogl ومعاونوه من عزل ثلاثة مواد للنمو على حالة طورية وقد أمكن تحضير مركبين من هذه المواد من النباتات الرأقية وقد سميت «أوكسين أ» و «أوكسين ب» بينما أمكن تحضير مادة النمو الثالثة من الكائنات الحية الدقيقة والفطريات وسميت «هيتروأوكسين».

أوكسين أ Auxin a.  $C_{10}H_8$   $\cdot$   $CH_3$

الوزن الجزيئي = ٣٢٨

أوكسين ب Auxin b.  $C_{10}H_8$   $\cdot$   $CH_3$   $\cdot$   $CH_3$

الوزن الجزيئي = ٣١٠

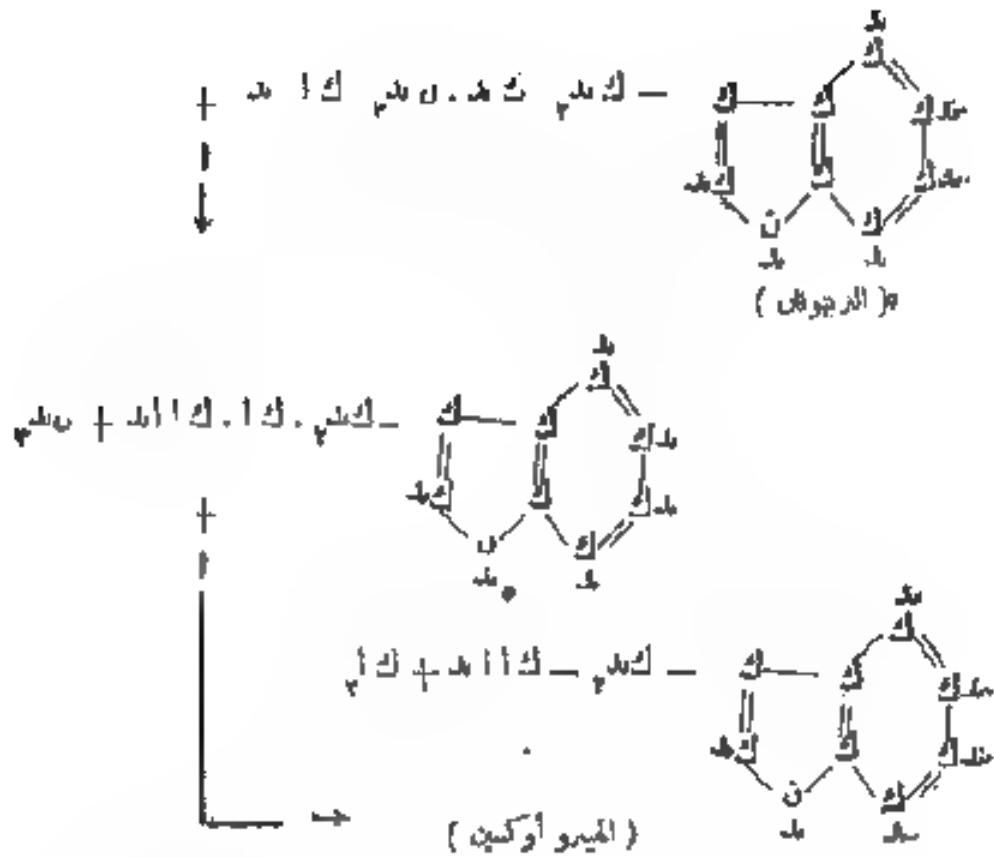
هيتروأوكسين Hetero-auxin

الوزن الجزيئي = ١٧٥

ومن خواص أوكسين (أ) أنه يثقل أو يقل نشاطه عند معاملة بالقلويات ، أما الأحماض فلا تؤثر على نشاطه أو خواصه ، وأوكسين (ب) يتأثر عند معاملة بالأحماض أو القلويات فيقل نشاطه .

والهيتروأوكسين من الوجهة الكيميائية هو بننا أندول حامض الخليك

Oxidative  
deamination B - Indol acetic acid  
من الحامض الأميني « تريوفان » . وتوقف كمية الهيتروأوكسين الناتجة على درجة تركيز التريوفان الموجود في البيئة الغذائية كما يتوقف أيضاً على درجة التهرية



و ليس للبيتر أو كسين المستخلص من الكائنات الحية الدقيقة تأثير على نموها وكذلك الحال في أوكسين ١ و أوكسين ٢ ، بينما للبيتر أو كسين أو كسين ١ تنظيم النمو في النباتات الراقية تماماً كما يؤثر كل من أوكسين ١ و ٢ . ويفقد البيتر أو كسين نشاطه تماماً عند معاملة بالأحماض أما القلويات فلا تؤثر على نشاطه على العكس تماماً من أوكسين ١ .

و أوكسين ١ هو حامض هيدروكسيل واسمه الكيميائي حامض أوكسينتريوليك

#### Ouxentriotic acid

و أوكسين ٢ هو حامض كيتوني واسمه حامض أوكسينولونيك Oxenolonic acid

و يعتبر بول الإنسان و الثدييات من أغنى المصادر التي تقطر منها الأوكسينات .

فقد يحتوي المليجرام الواحد من مادته الجافة على ١٠٠٠ إلى ٥٠٠٠ وحدة شوفافية .

لما جوب اللقاح و الذور فهي أغنى المصادر الثابتة في الأوكسينات .

### أصول الأوكسينات :

في عام ( ١٨٩٦ ) لاحظ Rothert أنه عند إزالة السويقة فإنها تقف عن النمو ولكنها بعد مدة تسميد قديتها على التوت الثانية . وقد أسمى قمة البادرة في الحالة الثانية « القمة الفسيولوجية » Physiological tip . وفي عام ( ١٩٢٦ ) قام Dolk بدراسة هذه الظاهرة دراسة وأمية وأوضح أنه إذا أزيل طرف العلاف الورقي للبادرة ثم قطعت أسطوانة أخرى من نفس العلاف الورقي بعد مدة قصيرة ، وقد ماتت من الأوكسينات فإنها لا تمكث تحتوى على كمية تذكر من هذه الأوكسينات . أما إذا ترك العلاف الورقي مدة كافية بعد إزالة طرفه ثم فصلت منه أسطوانة فإنه عند تقدير محتواها من الأوكسينات وجد أنها تحتوى على كمية كبيرة منها . استنتج من هذه التجارب أن العلاف الورقي الذي أزيل طرفه له القدرة على إنتاج كمية أخرى من الأوكسينات في الخلايا الطرفية للقمة التي فصل طرفها . ويقوم طرف العلاف الورقي الجديد بنفس العمل الفسيولوجي الذي كانت تقوم به القمة للمصولة ومن ذلك أطلق عليه « القمة الفسيولوجية » وهي القمة التي تتجدد بعد الفصل .

وعندما أزال Skoog ( ١٩٣٧ ) الأندوسبرم من بعض البنود ثم أزال بعد أيام من إنباتها قمم أغصانها الورقية فإنه لاحظ أن القمة الفسيولوجية لم تتجدد حتى بعد تركها مدة طويلة . وعندما أزال لهم بعض البادرات التي لم ينزع منها الأندوسبرم ثم وضع قطعاً من الآجر على سطح الأصراب للمقطوعة ثم أزال هذه القطع بعد مدة من الزمن ووضعها وضعا غير مركزي على أطراف بادرات أخرى أزيل منها الأندوسبرم وأرملت فيها ، لم يحدث انحناء لهذه السويقات في أول الأمر ، ولكن بعد مضي ساعتين بدأ الانحناء وأخذت الزيادة . وقد فسرت هذه الظاهرة بأن قطع الآجر لا يبد أنها احتوت على مادة غير فعالة في أول الأمر ثم تحولت تدريجياً إلى مادة أوكسينية نشطة .

ويمكن تلخيص هذه الملاحظات والنتائج فيما يلي :

تتكون الأوكسينات في القسم الحقيقية أو القسم الفسيولوجية من أصل غير

نشط يتكون في اندوسبرم البذرة ، ثم ينتقل هذا الأصل Precursor بصورة المير  
شعلة ولا يتحول الى الأوكسين النشط إلا بعد وصوله الى القمة .

### انتقال الأوكسينات

سبق أن أوضحنا أن الأوكسينات تتكون في القسم النامية ثم تنتشر إلى أسفل  
في اتجاه قاعدى . وفي عام ( ١٩٣٨ ) أجرى Beyer التجربة الآتية .  
فصل قسم الأغلفة الورقية لبعض بادرات الشوفان ثم قسمها الى مجموعتين ثم  
وضع بين القسم المفصولة وبين اطرافها المقطوعة اسطوانات من الأغلفة الورقية  
بوصفها الطبيعي على النبات في إحدى المجموعتين ووضع هذه الاسطوانات بوضع  
مقلوب في المجموعة الثانية . فلاحظ بعد مضي الوقت ان الأوكسينات امكنتها ان  
تنتشر خلال الاسطوانات الموصوعة وصعاً طبعياً وسببت زيادة نمو السويقة بينما لم  
تتمكن من الانتشار خلال الاسطوانات المقلوبة ووقف نمو سويقاتها لعدم وصول  
الهرمونات الى اطرافها النامية . والنسبة تدل عليه هذه التجربة هو ان انتقال  
الأوكسينات يكون قطبياً Polar .

وما يعرر قطبية انتقال الأوكسينات تلك التجربة التي أجراها Van der Weij  
( ١٩٣٣ - ١٩٣٤ ) وفيها أحضر اسطوانة مقطوعة من غلاف ورقى ووضعها بين  
قطعتين من الآجر تحوى إحداهما على اوكسين ولا تحتوى الأخرى على شيء منه ،  
فلاحظ أن الأوكسين لم ينتقل الى اسطوانة الغلاف الورقى إلا عندما كانت قطعة  
الآجر المحتوية عليه موصوعة وضعا مورفولوجيا على قمة الغلاف الورقى أى أعلاه .  
وعند إسمالة اسطوانات لأغلفة الورقية المستعملة في التجربة السابقة يحلوا  
الآجر ، فإن انتقال الأوكسينات لم يتبع الطريقة القطبية بل كان انتقالها عاصياً  
لقوانين الانتشار المادى . ولكن عند تهوية الاسطوانة تهوية جيدة عاد انتقال  
الأوكسين الى ما كان عليه أى أنه أصبح قطبياً مرة أخرى .

### الأوكسينات ونمو السويقات :

نمو السويقات والأغلفة الورقية بمعدل أكبر قرب أوساطها . ويعزو Went



( ١٩٢٨ - ١٩٣٥ ) اختلاف النمو في أجزاء السويقة الى عاملين : الأول هو حركة الأوكسينات من القمة الى أسفل والثاني هو العامل العدائي وهو حركة المواد الغذائية من أسفل ( من البذرة ) الى أعلا . فبينما يقل تأثير العامل الأول على نمو الخلايا كلما ابتعدنا عن القمة ، يقل تأثير الثاني كلما ابتعدنا عن القاعدة . في المنطقة الطرفية يعتمد النمو على وجود الأوكسينات وحدها فتركيزات زائفة . أما في المنطقة القاعدية فإن النمو يعتمد على وفرة المادة الغذائية لأن تركيز الأوكسينات فيها يكون ضئيلا . أما المنطقة الوسطية فإنها تتلقى إمدادات كافية من كل من الأوكسينات ( من أعلا ) والمادة الغذائية ( من أسفل ) ولذلك يزيد معدل نموها .

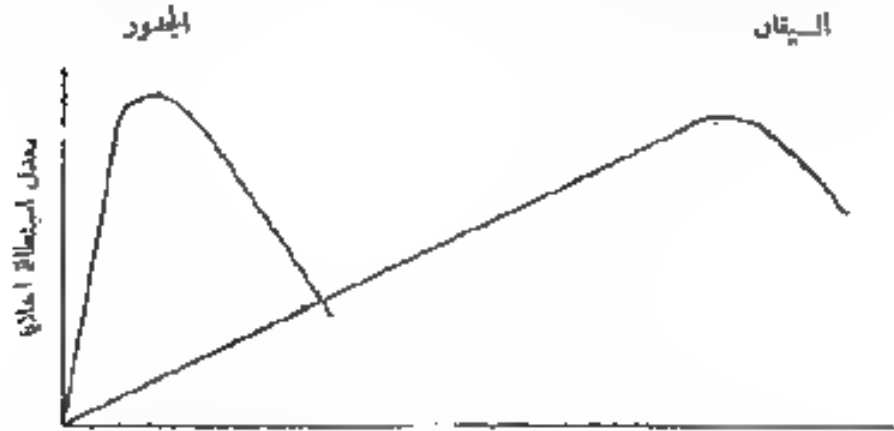
#### الأوكسينات ونمو الجنود

لوحظ أنه عند إخماد جذور بادرات الشوفان في محاليل تحتوي على الأوكسينات أن معدل نموها ينقص بنسبة ملحوظة . ولاحظ Cholodny ( ١٩٢٤ - ١٩٢٦ ) أنه عند فصل الأطراف النامية للجنود ، ساعد ذلك كثيراً في معدل استطالتها . وعندما أعد الأطراف المفصولة الى أماكنها أدى ذلك الى تأخر استطالتها من ذلك يظهر أن تأثير الأوكسينات على نمو الجنود عكس تأثيرها على نمو الأغلفة الورقية والسويقات .

وتحتوي أطراف الجنود على كمية من الأوكسينات أقل كثيراً مما تحتويه الأغلفة الورقية منها . وقد أخفق كثير من الباحثين في الحصول على أية كمية من الأوكسينات من أطراف الجنود . وفي عام ( ١٩٢٣ ) نجح Boysen - Jensen في استخلاص الأوكسينات من أطراف الجنود باستعمال قطع الآجار المضاف اليه بعض السكر . ويظهر أن استعمال السكر قد ساعد على استخلاص الأوكسينات بطريقة . الأول وهو زيادة الضغط الأرموزي لقطع الآجار مما أدى الى سرعة انتشار الأوكسينات من أطراف الجنود . والثاني بطريق تغذية الجنود بالمادة السكرية مما أدى الى سهولة استخلاص الأوكسينات .

### التأثيرات المختلفة لتركيز الأوكسينات على الجنود والورقية:

سبق أن أوضحنا أن تأثير الأوكسينات في نمو الجنود يتأثر بتأثيرها في نمو الأغلفة الورقية والسويقات. وقد قرر Boysen - Jensen (١٩٣٦) هذه الظاهرة بأن افترض أن التركيزات المنخفضة من الأوكسينات تسبب استطالة الخلايا، بينما يحدث



(شكل ٥٤) تركيز مادة النمو  
العلاقة بين تركيز الأوكسين وأثره في استطالة الخلايا في كل من الجنود والسويقات

التركيزات العالية منها، عكس التأثير. وأن التركيزات المثلى لنمو الجنود تكون منخفضة جداً إذا قيسَت التركيزات المثلى اللازمة لنمو الأغلفة الورقية والسويقات. والرسم الموضح في (شكل ٥٤) يوضح هذه العلاقة.

وبما أبد صحة هذا الفرض تلك الأبحاث التي أجراها Amlong (١٩٣٦) حيثما أزال أطراف جنود الفول النامية وأمد لأجزاء الباقية من الجنود بتركيزات منخفضة جداً من الأوكسينات مما أدى إلى اضطراب نموها.

وعندما أزال Thimann & Schneider (١٩٣٨) أطراف الأغلفة الورقية لمبادرات البقول ثم أصيبت الأوكسينات إلى الأجزاء الباقية بعد القلع بتركيزات مختلفة، لاحظ أنه كلما زاد تركيز الأوكسينات أدى ذلك إلى زيادة معدل استطالة الخلايا. وبلغت الزيادة أصحها عندما كان تركيز الأوكسين ١٠ مليجرامات في اللتر. وأدت الزيادة في التركيز عن هذا الحد إلى إبطاء النمو وكنت إلى قلة استطالة الخلايا.

## بعض طواهر نشاط الأوكسينات :

### ١ - زيادة استطالة الخلايا .

ليس من المعروف على وجه التحقيق الدور الذي تلعبه الأوكسينات في استطالة الخلايا ويرى البعض أن ذلك راجع إلى زيادة إنتاج الخلايا لمادة الجدار وقد أوضح Heyn ( ١٩٣١ ) من تجاربه العديدة أن استئصال الأوكسينات سبب زيادة في لين جدر الخلايا المعاملة عن نظائرها التي لم تعامل بالأوكسينات مما أدى إلى قلة الضغط الجداري للخللا المعاملة فزاد تمدده وانفرداها عند استئصالها للواء .

### ٢ - تكوين الثمار اللابدرية :

أوضحت تجارب كثير من الباحثين وجود علاقة وثيقة بين الأوكسينات وتكوين الثمار ونموها . فقد وجد Gustafson ( ١٩٣٦ - ١٩٣٩ ) أن ثمار الصيف تحتوى دائماً على كمية من الأوكسينات أكبر من التي تحتويها ثمار الشتاء والربيع . وأن البويضات في جميع الثمار تحتوى على كمية من الأوكسينات تفوق ما يحتويه أى جزء آخر من أجزاء الثمار . وأوضح Do llus أن البويضات والبذور هي أكثر المراكز إنتاجاً للأوكسينات أثناء نمو وتكوين الثمار كما أوضح Thimann ( ١٩٣٤ ) وغيره احتواء حبوب اللقاح على قدر من الأوكسينات .

ويرى Gustafson ( ١٩٣٨ ) أن نمو الثمار إنما يحدث نتيجة لعملية التلقيح والأخصاب ، وذلك لأن الأبوية اللقاحية تمد البويض بقدر كاف من الأوكسينات لبدأ نموه وتحوله إلى ثمرة ، وأن استمرار المبيض (ثمرة المستقبل) في النمو والتضخم إنما يعزى إلى الامدادات التي يلقاها من الأوكسينات التي تنتج من البويضات والبذور ففي إحدى التجارب أزيلت البويضات من المبيض فأدى ذلك إلى إيقاف نمو المبيض وتحوله إلى ثمرة . ولكنه عند امداده امداداً صناعياً بالأوكسينات فإن المبيض أخذ في النمو والتحول .

أما فيما يخص بالثمار اللابدرية التي تكون طبيعتها كالبريقال أبو سرة والمثب

البناتي والمور - فإن Gustafson ( ١٩٣٩ ) يفترض احتواء سابصها بطيئتها على قدر من الأوكسينات كاف يبدأ المبيض في النمو والتحول إلى ثمرة بدون الحاجة إلى امدادات تلتفها من الأنوية القاحية. والأوكسين في هذه الحالة إما أن يخرج من المبيض نفسه أو يتمثل اليه من الأوراق .

ولكن يدلل Gustafson على صحة اقتراضه ، بأنه قام بمقارنة المخبري الأوكسيني للمبايض وهي في طور التراجع الهرمية لنباتات تنتج ثماراً لا بذرية وأخرى تحتاج إلى عملية التلقيح والإخصاب لتنتج ثمارها . ولاحظ أنه في جميع الحالات احتوت مبايض النباتات التي تنتج ثماراً لا بذرية على قدر من الأوكسينات أكثر من الأخرى . ولكن عندما بلغ عمر الثمار من ٢ - ٤ أسابيع ، زاد المحتوى الأوكسيني في المبايض البذرية عنه في المبايض اللابذرية كما هو ظاهر في الجدول التالي .

حالة المبيض	ثمار لا بذرية	ثمار بذرية
رسم زهري	١,١٦ مليجرام	٠,٥٨ مليجرام
ثمرة عمرها اسبوعان	١,٠٦	١,٣٥
ثمرة عمرها ٤ أسابيع	٠,٦١	٠,٨١

المحتوى الأوكسيني للمبايض البذرية واللابذرية في أعمار مختلفة مقدرة بالمليجرام من أنسول حامض الخليك لكل كيلو جرام واحد من المبايض المستعدة

يصح إذن عما سبق أن الأوكسينات تلعب دوراً هاماً في تكوين الثمار ونموها . وعلى ذلك فإن عملية التلقيح من الناحية الفسيولوجية لا فائدة لها إلا في امداد المبيض الصغير بكمية من الأوكسين تنشط نموه .

وقد نجح Gustafson في إنتاج ثمار لا بذرية عندما عامل مياهم الأزهار بأنسول حامض الخليك ( على هيئة محلول في قطعة من القطن وضعت على عيشم الزهرة أو باستعمال عصي اللاتولين مع تدول حامض الخليك على المسم مباشرة ) . وقد أمكن بهذه الطريقة إنتاج ثمار عالية من البذور والقراءات الداخلية من الطماطم والشمام

والخيار والبادنجان والعلمل والقرع عند معاملتها بالهيترو أوكسين وأمثالها من مواد النمو . وكان شكل الثمار الناتجة طبيعياً ولو أنها كانت أقل قللاً في الحجم من الثمار الأخرى .

### ٣ — تشجيع انقسام الخلية :

أوضح Snow ( ١٩٢٣ ) ، ( ١٩٢٥ ) بالتجربة تأثير الأوكسينات على نشاط الكامبيوم فعندنا حامل صرف موبقة بدرجة عباد الشمس عند فصل قنفا بأوكسين ١٠ ، لاحظ زيادة في سمكها نتيجة لنشاط الكامبيوم

ومن أمثلة تأثير الأوكسينات في انقسام الخلية تكوين العقد السكرية على جذور النباتات المقولمة - كما سبق توضيحه - وتكوين الجذور على العقل الساقية . وقد وجد أن الأورام المرصعة التي يحدث للسبتان والجذور نتيجة لإصابة ببعض الأمراض إنما يرجع إلى إحياء هذه الأجزاء المصابة على تركيبات عالية من الأوكسينات التي تسبب تضخم الخلايا وانقسامها .

### ٤ — تكوين الجذور على العقل الساقية والورقية :

قام Van der Lek ( ١٩٢٥ ) بدراسة علاقة تكوين الجذور على العقل بالمرامل الداخلية بنباتات الصفصاف *Salix* والنب *Vitis* وغيرها . وأوضح أن وجود البراعم النشطة في هذه العقل تشجع تكوين الجذور بها ، وأن تكوين الجذور يتمتع تماماً في حالة كون هذه البراعم أو إزالتها

وقد أكدت أبحاث Went ( ١٩٢٩ - ١٩٣٤ ) ، Némec ( ١٩٣٤ ) النتائج السابقة ويوضح بها أن وجود البراعم على العقل لا تقصر أهميتها على إمداد هذه العقل بالمادة التي تشجع تكوين الجذور لحسب ، بل لأن لها تأثيراً آخر لا يمكن تعويضه بتغير المعاملة .

وأوضح Thimann & Went ( ١٩٣٤ ) أن تأثير مادة تكوين الجذور يشابه إلى درجة كبيرة - إن لم يكن مماثل - تأثير الأوكسين نفسه .

ومن المعروف أنه عند معالجة العقل الخشنة بمحلول مخفف من الأوكسين فإن ذلك يسبب تكوين الجنود بها ونموها نمواً تاماً . فإذا عوملت الأطراف السفلى فقط بهذه المادة فإن الجنود لا تتكون إلا عليها . ولكن إذا عوملت الأطراف العليا للعقل فإن الجنود تتكون على جميع أجزائها .

وعندما عمل Cooper ( ١٩٢٥ ) على الليمون بالأوكسين في أطرافها السفلى وأزال ١ سم من هذه الأطراف المعاملة في بعض العقل ثم عاملها بالأوكسين ثانية لم تتكون عليها الجنود ، بينما تكوّن الجنود على العقل الأخرى التي لم تزل أطرافها السفلى . وتظهر هذه التجربة أن هناك عامل داخل يتحرك إلى القاعدة عند معاملتها بالأوكسين وينراكم فيها . فبعد إزالة هذا الجزء القاعدي من العقلة فإن هذا العامل المتاحل يزال مع الجزء المزال وبالتالي لا تتكون الجنود على مثل هذه العقلة .

وليس ضرورياً أن تسبب معالجة العقل بالأوكسين تكوين الجنود عليها ، إذ أن بعضها لا يستجيب لهذه المعاملة . فقد لوحظ نجاح تكوين الجنود في بعض أنواع العسل إذا عوملت بمحلول مكرى غلب معاملتها بالأوكسين مباشرة .

وهناك بعض مواد لها تأثير كبير على تكوين الجنود ومن أمثلتها تلك المادة التي توجد في مستخلص الخيرة والتي تسمى « Bios » . ويبدو أن هذه المادة تتكون من ثلاثة مواد على الأقل ، أهمها ما هو معروف باسم « Biotin » . وهذه المواد تساعد على تكوين الجنود إذا عوملت الأجزاء القاعدية من العقل بها .

ويجب ألا ينسب عن الببال - بالإضافة إلى العوامل السابقة - أهمية العوامل الأخرى في نجاح تكوين الجنود على العقل أهمها - موصد تجهيز العقلة ودرجة الحرارة المناسبة لنموها ووفرة الرطوبة حول قاعدتها دون الإحلال بتبويتها

وإذا احتوت العقلة على قدر كاف من الأوكسين ومع ذلك لم تتكون بها الجنود عند زراعتها ، فلا بد أن يكون هناك عامل أو أكثر من عامل غير متوفر وعلى ذلك يفهم هذا العامل الغير متوفر بدور العامل المختص لتكوين الجنود ولا بد من توفيره بعد

تالبحث عنه ومعرفة . هذا وقد يكون للأزيمات التي توجد على سطح العقلة المنقطع غائر مشط على الأوكسين انصاف .

٥ — وقف استطالة السيقان والجذور :

سبق أن أوضحنا أن وقف استطالة لأعضاء النباتية يحدث نتيجة معاملة تركيزات من الأوكسينات أصلا من التركيزات التي تسبب استطالاتها وقد أوضحت تجارب Cholodny وقف استطالة الجذور عند معاملة تركيزات خاصة من الأوكسينات .

وفي عام (١٩٣٥) لاحظ Czaja أنه عند معاملة السويقة الجنسية لبادرات صناد الشمس بتركيزات معينة من الأوكسين المحصر من البول ، أدى ذلك إلى استطالة السويقات بنسبة ١٢٧ ٪ من سويقات البادرات التي لم تعامل ( بادرات المقارنة ) . ولكن عند زيادة تركيز الأوكسين إلى أربعة أمثال التركيز المستعمل أدى ذلك إلى استطالة السويقات بنسبة ١٩ ٪ من سويقات بادرات المقارنة .

وعندما عامل Dostal ( ١٩٣٦ ) فلقات البصلة بدهن اللانولين المحوى على الأوكسين بنسبة تقل عن حصة ملليجرامات من أنثول حامض الخليك لكل جرام من اللانولين ، أدت هذه المعاملة إلى استطالة أعناق الأوراق ، ولكن هذه الاستطالة لم تحدث في أعناق أوراق النباتات التي عوملت علقاتها بتركيزات أصلا من ذلك .

وثمة تجارب مشابهة أجراها Themann & Sweeney (١٩٣٧) ، (١٩٣٨) على خلايا بشرة الأغلفة الودية لبادرات الشوفان . فعندما عوملت خلايا نشرتها تركيزات منخفضة من الأوكسينات ، سبب ذلك زيادة معدل الحركة الدائرية للبروتوبلازم ، بينما سببت تركيزات من الأوكسين تزيد عن عشرة ملليجرامات في اللتر إبطاء الحركة الدائرية .

٦ — وقف نمو البراعم الجانبية :

من الحقائق المعروفة أن البراعم الجانبية تظل ساكنة طالما بقي البرعم الطرفي نشاق نامياً نمواً طبيعياً ، وأنه عند إزالة هذا البرعم الطرفي فإن أكثر هذه البراعم

الجانبية الساكنة تنبئ ونأخذ في النمو . من ذلك يرى أن هذه البراعم الجانبية تحتفظ دائماً بقدرتها على النمو متى شئيات لها الظروف ، ولكنها تبقى ساكنة طالما بقي البرعم الطرفي متصلاً بالساق التي تحمل هذه البراعم الجانبية . وتعرف هذه الظاهرة بظاهرة « السيادة الطرفية » The apical dominance . وعندما ينمو البرعم الجانبى معطياً فرعاً جانبياً ، فإن برعمه الطرفي يؤثر على البراعم الجانبية لتعبر الفرع ويرف نموها أيضاً ، وعلى ذلك فإنه من السهل التحكم في شكل الشجرة متى أجرى تقليمها بطريقة مناسبة لإنتاج الأفرع الجانبية التي عنها يبني الشكل النهائي لها . هنا بما يختص بأشجار الزينة ، أما لأشجار المشرة فيراعى في تقليمها تشجيع البراعم التي ستعبر النمو الأخرى الجديد ، ولكل نوع من هذه الأشجار طريقة خاصة في التقليم تناسب وطريقة عمرها . فليس العرص لمحد من التقليم إزالة النمو الزائد لحسب . بل أيضاً تنبيه نمو البراعم التي لو تركت الشجرة بدون تقليم لما نمت .

ويؤخذ من نتائج Thimann & Skoog (١٩٣٣) ، (١٩٣٤) أن البرعم الطرفي نبات الفول هو أكثر المراكز إنتاجاً للأوكسين ، وأن أكثر هذا الأوكسين المنتج إما يرجع إلى حملة الأوراق الصغيرة ، وأن البراعم الجانبية الساكنة لا تنتج الأوكسينات طالما بقيت ساكنة . ولكنها تبدأ في إنتاجها بمجرد خروجها من طور السكون إلى طور النمو . ويعزو هذان الباحثان سكون البراعم الجانبية إلى الكميات الطائلة من الأوكسينات التي يمررها البرعم الطرفي والتي تتحرك في الاتجاه المعاكس فتمنع تكوين الأوكسينات من البرعم الجانبية . وقد أثبتا بالبرهان صحة هذا الرأي عندما أزيلت القمة السامية ووضع مكانها قطعة من الأجل تحتوى على الأوكسين عطلت البراعم الجانبية ساكنة تماماً كما في نباتات المفارمة التي لم تتأصل فيها البراعم الطرفية .

وقد وضعت عدة نظريات لتفسير سكون البراعم الجانبية ، ولكن يبدو أن هذه النظريات غير مقنعة . وقد أعاد Thimann (١٩٣٩) النظر فيها ولفت الانتباه إلى نقطة أهملها كثير من الباحثين وهي احتمال حدوث تلف للأوكسينات في البراعم



الجانبية . فن الجائر أن يكون سبب سكون هذه البراعم هو قدرتها على أحداث التلقح للأوكسينات التي تفردها هذه البراعم أو التي تأتي إليها من البرعم الطرفي فعند إزالة البرعم الطرفي فإن إمداد البراعم الجانبية بالأوكسينات يمنع مؤقتاً وبالتالي يمنع تأثير إتلاف الأوكسينات . ولكن سرعان ما تنبه البراعم الجانبية العليا لوجود أوراق صميرة نقطة يحوارها تمدها ببعض الأوكسينات التي تتجلب فتتنب وتأخذ في النمو وإنتاج مزيد من الأوكسينات التي تتحرك بدورها إلى أسفل وتمنع نمو البراعم الجانبية الأخرى بنفس الطريقة .

#### ٧ - مقاومة الحشائش :

منذ عام ( ١٩٤٤ ) حدث تطور كبير في استخدام المستحضرات الأوكسينية الصناعية . خصوصاً المركب المعروف باسم 2, 4- dichlorophenoxy acetic acid أو ( 2, 4-D ) في إزالة الحشائش . وقد نشرت كثير من الأبحاث عن هذه المادة وطرق استخدامها وتأثيراتها الفسيولوجية على النباتات المعاملة بها ، ولا يزال البحث فيها مستمراً حتى الآن . وتختلف مبيدات الحشائش الهرمونية عن المبيدات الأخرى السكياوية في أواح كثيرة .

وقد استعمل في الماضي كثير من هذه المبيدات السكياوية ( مثل كبريتات الحديدوز وحامض النكروتيك وكلورات الصوديوم وكبريتات الأمونيوم ومستحضرات الزرنيخ المختلفة ) كما استخدمت المستحضرات الزيتية ذات التأثيرات الفعالة ( مثل بعض منتجات النفطير الجوزي لزيت التربول ) واستعملت أيضاً مستحضرات الديترو ' Dinitro ' مثل المركب المعروف تحت اسم ( Sodium dinitro - o - cresylate ) . أما تأثيرات هذه المركبات السكياوية على إزالة الحشائش فراجع إلى تسميتها مباشرة للخلايا التي تمسها . وتسبب كثير من هذه المبيدات السكياوية إيادة جميع المزروعات يوماً بيوم البعض الآخر الحشائش الضارة وتبقى المحاصيل الرئيسية بدون ضرر تقريباً كما يحدث عند رش حقول الشوفان للتحصن من عشب الخردل ( عشب من العائلة الصليبية ينمو مع المحاصيل الشتوية ) بمحلول مخفف من حامض السكويتيك . وقد

يجرى عدم إبادة نباتات الشوفان عند معاملتها بهذه المادة إما إلى قلة نفادية كيويين خلايا بشره أوراقها لحامض الكبريتيك أو إلى عدم قابلية الأوراق للاحتلال بالحامض. وتعرف مقاومة بعض المحاصيل كالجزر وبعض نباتات العائلة الخيمية عند رشها بالمحاليل الزيتية الخفيفة المحتوية على نسبة بين ١٢ - ١٥ ٪ من المواد المطرية السامة إلى مقاومة البروتوبلازم.

أما في حالة استعمال لمبيدات الهرمونية ، فإنه بالإضافة إلى تأثيرها السام المباشر عند استعمالها بتركيزات عالية ، فإنها ذات تأثير فعال في قتل الحشائش عند استعمالها بتركيزات لا تسبب تلف خلايا عند ملاستها . ويبدو أن تأثيرها غير مباشر في قتل الحشائش لأنها تسبب استهلاك الغذاء المخزن بها نتيجة لزيادة معدل تنفس النباتات المعاملة بزيادة كبيرة ، علاوة على تأثيرها في سرعة استهلاك خلايا ريشيمه القشرة للسيفان والجزور والأوراق ، كما تسبب وقف عملية الانتقال من الأوراق ، وتمزق خلايا الحياء نتيجة لتكون خلايا ريشيمية كثيرة في منطقة اللحاء ، وأخيراً تمنع تكوين البراعم . وتسرى المادة الهرمونية التي رشت بها النباتات إلى جميع أجزائها محدثة هذه التغيرات السابق ذكرها مما يؤدي حتماً إلى موت النبات بأكمله . ولهذا لمبيدات الهرمونية تأثيرات متباينة على النباتات المختلفة ، فبينما لا تكاد تؤثر في حشائش المراعي ( Grasses ) نجد أنها تقتل بالنباتات ذات الأوراق العريضة .



## الباب الرابع عشر

### الحركة والاحساس في النبات

#### Irritability and Plant Movement



اعتبر الإحساس في المصور الساعة حذاً فاصلاً وميزاً للحيوان عن النبات .  
إلا أنه قد ثبت بوجه عام قدرة النبات على الإجابة ( Response ) إذا أثر عليه مؤثر  
( Stimulus ) . ويعبر عن حساسية البروتوبلازم وقدرته على الاستجابة للمؤثرات  
بالإحساس ( Irritability ) .

وأكثر ما تكون الحركة وضوحاً في النباتات الأولية كالبكتيريا المتحركة وبعض  
أنواع الطحالب مثل طحلب الكللامندوموناس Clamydomonas .  
ويختلف الإحساس والحركة في النبات عنه في الحيوان . ومعروف أن للحيوان  
جهازاً عصبياً يقوم بنقل التأثير أو التنبيه إلى مركز الأعصاب التي ترسل بدورها  
عن طريق الأعصاب - الرد أو الإجابة على هذا المؤثر . ولا تستغرق المدة بين  
التأثير والإجابة أكثر من جزء من الثانية . أما في النبات فالأمر يختلف عن ذلك كل  
الاختلاف لخلو أنسجة النبات من الأعصاب التي تقوم بنقل التأثيرات إلى مراكزها  
إلا أنها مع ذلك تستجيب للمؤثرات الخارجية كالصوت مثلاً ولكن ببطء شديد وبعد  
فترة طويلة من الزمن .

ومن أمثلة الحركة في النبات تفتح الأزهار في الضوء وضمها في الظلام ، ونباح  
الأوراق ليلاً ( كما في أوراق الترمس حيث تنضم الوريفات على بعضها بالليل )  
وامرأها بهاراً ، وتحرك نورات عباد الشمس لتطل متعامدة مع أشعة الشمس طول  
النهار ، وذبول وتهدل أوراق الممحية Mimosa عند لمسها ، وكذلك حركة أوراق  
نباتات آكل الحشرات عندما تلامسها حشره أو مائه برويشية .

وتنقسم الحركة في النبات إلى الأقسام الآتية :

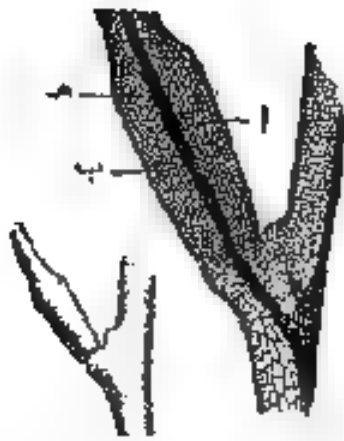
- ١ - حركة ذاتية Autonomic وهي التي تصدر من النبات نتيجة لقوه كامتداد  
الريزومات Rhizomes والسوق الجارية Runners بحسب سطح الأرض أو فوقها .  
ويجب ملاحظة أنه ليس للتأثيرات الخارجية دخل في هذا النوع من الحركة .
- ٢ - حركة تأثيرية Paratonic وهي التي تصدر من النبات نتيجة لمؤثر خارجي.  
وينقسم هذا النوع من الحركة إلى قسمين :

- ١ - حركة تأثيرية تصدر نتيجة لتركيبة خاص في النبات Nastic movement  
مثل لعاس الأوراق وحركة أوراق النباتات آكلة الحشرات وغيرها .
- ب - حركة تأثيرية تصدر نتيجة لتأثير المؤثر الخارجي وتسمى بالحركة  
الاتجاهية Tropic movement ومن أمثلتها الانتحاءات كالانتحاء الأرضي والانتحاء  
الصوتي والانتحاء المائي .

الحركة التي تصدر نتيجة لتركيبة خاص في النبات Nastic movement

عندما نلامس خنصرة شعيرات ورقة نبات آكل الحشرات ( الدوديبرا Drosophila ) فإنه تصدر حركة تأثيرية تكون نتيجة انطباق الشعيرات على الخنصرة التي تقوم بإمرار بعض الأنزيمات التي تحلل جسم الخنصرة إلى مواد أبوية بسيطة يقوم النبات بامتصاصها .

والحرارة والصوت - كل على حدة - تأثير على هذا النوع من الحركة . مثلاً تفتح  
أزهار الزعفران Crocus والنيوليب Tulip في درجة ثابتة من الحرارة عند إصابتها  
وتغلق عند إظلامها . كما أنه عند حفظها في درجة ثابتة من الإضاءة تفتح الأزهار  
في الهواء الدافئ . وتغلق في الهواء البارد . ويعزى تفتح الأزهار إلى زيادة تمدد  
السطح العلوي لبلات عن السطح السفلي ويحدث العكس عند قفلها .  
ومن أوضح أنواع الحركة التأثيرية ما يشاهد في نبات المستحية Mimosa ( النبات



( شكل ٥٥ )

وسادة ورقة المستحسنة

١ — السطح العلوي للوسادة

٢ — السطح السفلي

٣ — الحزمة الوعائية

الحساس ( Sensitive plant ) كنتيجة للتأثير  
اللمسي أو الجرحي حيث ترتفع وريقاتها الطرفية  
عند ملامستها ثم لا تلبث أن تسرى موجة من  
الارتجاج حتى تعم جميع وريقات الورقة الواحدة  
مبتدئة من الوريدات القريبة إلى البعيدة . وتعزى  
هذه الظاهرة إلى التركيب الخاص لوسادات الأوراق  
Pulvini ، حيث تكون الخلايا البرانشيمية في الجزء  
السفلي من الوسادة أرق جدراناً من شلتها في  
الجانب العلوي للوسادة ، كما تتميز بمسافات البينية  
الواسعة وبوجود حزمة وعائية مركزية في كل  
وسادة . فعند ملامسة النبات فإن الماء المسبب  
لامتلاء خلايا الجزء السفلي للوسادة ينتقل إلى المسافات  
البينية تنفذ خلايا هذا الجانب امتلاءها فتتحى خلاياه ويتغير شكل الوسادة للورقة  
كما يؤدي إلى ارتجاج الورقة ( شكل ٥٥ )

### الحركات الانحاءية ( الانحاءات ) Tropism movements

استعملت اصطلاحات خاصة لتبين نوع الحركات الانحاءية بالنسبة للمؤثر  
الخارجي ودرجة الاستجابة لهذا المؤثر . مثلاً أطلق ، الانحاء الأرضي ، على الحركة  
نتيجة لتأثير الجاذبية الأرضية . و الانحاء الضوئي ، نتيجة لتأثير الضوء .  
و الانحاء المائي ، نتيجة لتأثير الماء .

### الانحاء الضوئي Phototropism

تميل الساق والسويقات الجنينية وبعض الأجزاء الشائكة إلى نمو ناحية الضوء  
منجهة اتجاهها ضوئياً موجهاً . وعلى العكس تميل الجذور إلى النمو بعيدة عن الضوء  
متجهة انجهاً ضوئياً سالماً . ويحدث الانحاء الضوئي الموجب نتيجة لوهف نمو

الجانب المضاء وزيد نمو الجانب المظلم من العنبر النباتي . ولقد أدت الأبحاث التي أجريت على الانتحاء الضوئي إلى معرفة الكثير عن الأوكسينات .



( شكل ٥٦ )

رسم تخطيطي لبادرة نباتية  
أثر الإضاءة الجانبية و  
الانتحاء الضوئي (الموجوب  
في الساق والساق الجذر)

وأول الأبحاث التي أجريت في هذا الصدد هي أبحاث Blaauw ( ١٩٠٩ ) حيث لاحظ انحراف بادرات الشوفان ( الغير مصامة *Etiolated* ) نحو مصدر من الضوء قوة ١٧.٠٠٠ شمعة . وقد قرر ذلك الانحراف بعدم تكافؤ النمو على جانبي البادرة المظلم والمضاء . وفي عام ( ١٩١٠ ) أوضح Boysen-Jensen أن الإصابة الجانبية تسبب ثقباً ممتد النور وتراكبها على الجانب المظلم . وقد أكدت تجارب Went ( ١٩٢٨ ) نفس النتائج السابقة وأثبت عدم تساوي توزيع مادة النمو على جانبي البادرة المضاءة لإضاءة جانبية مما يؤدي إلى زيادة استطالة خلايا الجانب المظلم فتتحرف السويقة إلى جهة الضوء . ( شكل ٥٦ ) وقد أصاب Van Overbeek ( ١٩٢٢ ) إلى هذا التعليل أن انحراف السويقة إلى جهة الضوء إنما يسببه عاملان : الأول زيادة تركيز الأوكسين على الجانب المظلم والثاني شدة حساسية هذه الجانب للأوكسين .

وهناك عوامل كثيرة تؤثر على الانتحاء الضوئي . ومن بين هذه العوامل الطاقة الضوئية المستعملة عند إصابة النباتات إضاءة جانبية . وتوقف كمية الطاقة الضوئية بدورها على عاملين هما : شدتها ومدتها . عند إضاءة إحدى البادرات إضاءة جانبية مختلفة الشدة وعلى فترات تختلف في مدتها . فإنه يمكن إحداث انحناء ضوئي بدرجة معينة عند استعمال قدر معين من الطاقة الضوئية . فمثلاً تتحرف سويقة بادرة الشوفان

عند تعريضها لمدة ٢٥ ثانية لضوء قدره مائة واحدة بنفس القدر الذي تتحني به السويقة عند تعريضها لضوء قرنه ٢٥٠٠٠ شمعة لمدة ١١ من الثانية . ولا بد لكي يؤثر الضوء تأثيره الضوئي الكيماوي أن يسبق ذلك امتصاصه بواسطة بعض الأصباغ النباتية . وحيث أن الاوكسينات المعروفة حتى الآن مواد غير ملوثة . فإنها لا تمتص الضوء المرئي الذي يسبب الانحناء . وقد أثبت كثير من الباحثين أن الضوء الأزرق هو أكثر ألوان الطيف تأثيراً على الانحناء الضوئي . وقد وجد أن الأغصان الورقية للبادرات الشوفان تحتوي على صبغتين تمتصان الضوء الأزرق بدرجة كبيرة مما دعى إلى الفرض بأنها هي التي تقوم بامتصاص هذا اللون من الطيف فيحدث الانحناء الضوئي . هاتان الصبغتان هما الكاروتينات والفلافوبروتينات Flavoproteins . واعتقد أن الكاروتينات ليس لها أي دخل في إحداث الانحناء الضوئي بسبب استجابة البادرات الحالية لها لتأثير الضوء وأن الاستجابة إنما ترجع إلى اختراق جميع البادرات بوجه عام على مادة الفلافوبروتينات والتي توجد بصفة خاصة في الأعلة الورقية للشوفان .

#### الانحناء الأرضي Geotropism

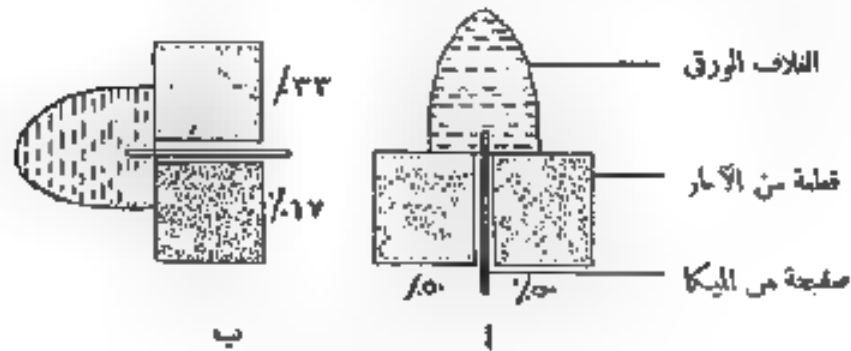
إذا وضعت بادرة نامية في وضع أفق مواز لسطح الأرض فإن الجزء السفلي لمنطقة الفرو في السويقة ينمو بدرجة أكبر من الجزء العلوي مما فتحنى منطقة الفرو في السويقة إلى أعلا . بينما يحدث العكس في جذير البادرة الذي ينمو بدرجة أكبر من سطحه السفلي فينحني طرفه النامي إلى أسفل . ( شكل ٥٧ ) وعلى ذلك فإن السويقات والسيقان ذات انحناء أرضي سالب بينما يكون في الجذور موجبا .



( شكل ٥٧ )

الانحناء الأرضي ( موجب في الجذر وسالب في الساق )

وقد أوضحت تجارب Herman Dolk (١٩٢٩ - ١٩٣٦) أن سبب الانتحاء الأرضي - كالانتحاء الضوئي - إنما يرجع إلى عدم تساوي توزيع الأوكسينات على جانبي البادرات . فقد قام باستخلاص وتقدير الأوكسين من الأصلحة الورقية للشوفان عند كانت في الوضع الرأسي والوضع الأفقي ودلت تجاربه على تساوي كمية الأوكسين المستخلصة في الحالتين . إلا أن توزيعها على جانبي الملاف الورقي اختلف اختلافا كبيرا . فبينما احتوى نصفي الملاف في الوضع الرأسي على كميتين متساويتين من الأوكسين ( ٥٠ ٪ / ٥٠ ٪ ) ، احتوى النصف العلوي منها على ٢٢ ٪ بينما احتوى النصف السفلي على ٦٧ ٪ من الأوكسين عندما كان الملاف في الوضع الأفقي . أي أن ثلثي الأوكسين تراكم على النصف السفلي ولم يترك في العلوي (إلا الثلث) (شكل ٥٨) وكما في حالة الانتحاء الضوئي ، فإن عدم تساوي توزيع الأوكسين بسبب عدم تساوي نمو جانبي الملاف الورقي وهذا يؤدي إلى الانحراف في الأجزاء البعيدة .



( شكل ٥٨ ) تركيز الأوكسين في نصفي الملاف الورقي عند يكون في الوضع الرأسي ( أ ) والوضع الأفقي ( ب )

وحيث أن استجابة الجذور لتركيزات عالية من الأوكسين تتخالف استجابة السويقات لنفس التركيز ، وقد سبق أن أوضحنا أن تركيز الأوكسين الذي يسبب زيادة نمو السويقات والسيقان يعطل نمو الجذور وعلى ذلك فعند وضع الجذر في وضع أفقي فإن بعض الأوكسين ينتقل من الجانب العلوي إلى الجانب السفلي فيزداد تركيزه في هذا الجانب - تماما كما في السويقات والسيقان - وحيث أن نمو الجذر يعطل بالتركيزات



العالية من الاوكسين ؛ فإن الجانب العلوى المحتوى من تركيز منخفض من الاوكسين ينمو بمعدل أسرع من الجانب السفلى المحتوى على تركيز عال منه وينتج عن ذلك انحناء الجذر انحناءاً أرضياً موجباً .

أما إذا وضعت البادرة على قرص كلينوستات دأثر بحيث تبقى البادرة ووضع مواد لسطح الارض أثناء دورانه ، فإن شكل البادرة لا يغير فلا تميل الريشة إلى أعلا ولا يميل الجذير إلى أسفل وذلك لتساوى توزيع الاوكسينات على أجزاء البادرة المختلفة .

#### الاتحاء المائى Hydrotropism

يقصد بالاتحاء المائى تحرك واتجاه الجذور نحو مناطق التربة الأكثر تشبعاً بالماء ويمكن إثبات ذلك بالتجربة الآتية

إذا أحصر أصيص كبير وملى بشارة الخشب المبللة بالماء ثم وضع فى وسط الاصيص الكبير أصيص آخر صغير مسدود القاع ومملوء بالماء . ودرعت نحص بدور الفول فى شارة الخشب المبللة بالماء وتركنا ثبت مدة من الزمن . ثم منع إمداد شارة الخشب بالماء . تلاحظ أن المجموع الجذرى للبادرات المنزوعة يتجه نحو الاصيص الصغير المملوء بالماء ويحيط به من كل ناحية .



## المراجع

- Barton - Wright, E. O. :**  
Recent Advances in Plant Physiology. 1933  
General Plant Physiology. 1940
- Bonner, J. and Galston, A. W. :**  
Principles of Plant Physiology. 1950
- Boysen - Jensen, P. :**  
Growth Hormones in Plants. 1936
- Curtis, O. F. :**  
The Translocation of Solutes in Plants. 1925
- Curtis, O. F. and Clark, D. G. :**  
An Introduction to Plant Physiology. 1950
- Dixon, H. H. :**  
Transpiration and the Ascent of Sap in Plants. 1914  
The Transpiration Stream. 1924
- Finter, F. B. :**  
An Introduction to Physical Chemistry. 1926
- Haas, P. and Hill, T. G. :**  
An Introduction to the Chemistry of Plant Products. 1921, 1922
- Harvey, R. B. :**  
Plant Physiological Chemistry. 1929
- Hatschek, E. :**  
An Introduction to the Physics and Chemistry of Colloids. 1925
- James, W. O. :**  
An Introduction to Plant Physiology. 1943
- Loomis, W. E. and Shull, C. A. :**  
Methods of Plant Physiology. 1937
- Maximov, N. A. :**  
The Plant in Relation to Water. 1920
- Miller, E. , G. :**  
Plant Physiology. 1938
- Onslow, M. W. :**  
The Principles of Plant Biochemistry. 1931  
Practical Plant Biochemistry. 1931

- Osterhout, W. J. V. :**  
Experiments With Plants. 1908  
Injury, Recovery and death, in Relation to Conductivity and Permeability. 1922
- Said, H. :**  
Fundamentals of Plant Physiology. 1955
- Steele, C. C. :**  
Introduction to Plant Biochemistry. 1934
- Stiles, W. :**  
Permeability. 1924  
Photosynthesis. 1925  
An Introduction to the Principles of Plant Physiology. 1950
- Stiles, W. and Leach, W. :**  
Respiration in Plants. 1932
- Sumner, J. B. and Somer, G. F. :**  
Chemistry and Methods of Enzymes. 1947
- Thomas, M. :**  
Plant Physiology. 1947
- Went, F. and Thimann, K. V. :**  
Phytohormones. 1937
- Willstatter, R. and Stoll, A.**  
Investigation on Chlorophyll. 1928

### تصحيح الأخطاء

الصواب	الخطأ	السطر	الصفحة
permeable	permbeale	٢١	٢٤
Chloroella	Chloroell	١٢	١٤٦
فوسفات	فوسفات	١٢	١٥٩
٦ ١ ←	٦ ١ ←	٢	١٩٥



